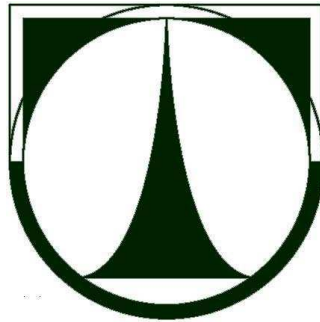


Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní



Miroslav Hofman

VHODNÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU PROTOTYP Ů LITÍM VE VAKUU

Bakalářská práce

2010

Katedra výrobních systémů ů

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Strojírenství
Zaměření: Výrobní systémy

VHODNÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU PROTOTYPŮ LITÍM VE VAKUU

SUITABLE MATERIALS FOR PROTOTYPING WITH CASTING IN VACUUM

KVS-VS-80

Miroslav Hofman

Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Jaroslav Fajt

Počet stran : 45
Počet příloh : 12
Počet obrázků : 10
Počet tabulek : 13
Počet modelů : 0
nebo jiných příloh: 0

V Liberci 24.5.2010

**TÉMA: VHODNÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU PROTOTYPŮ
LITÍM VE VAKUU**

ANOTACE: Bakalářská práce se zabývá volbou liticích materiálů pro výrobu prototypových modelů. Část rešeršní je zaměřena na popis technologie vakuového odlévání, který zahrnuje také výrobu formy i modelu. Větší prostor je ovšem věnován přehledu liticích materiálů vhodných pro odlévání do silikonových forem. Praktická část je založena na odlití modelů z vybraných materiálů. Měřením jednotlivých rozměrů modelů a posouzením vzhledu odlitků je umožněno vzájemné porovnání volených materiálů. Dle získaných výsledků je doporučen nejvhodnější materiál a postup odlévání.

**THEME: SUITABLE MATERIALS FOR PROTOTYPING WITH
CASTING IN VACUUM**

ANNOTATION: The bachelor thesis deals with the choice of casting materials for the production of prototypes. Part of the research is focused on the description of vacuum casting technology, which also includes the manufacture of moulds and models. The larger space has been devoted to an overview of casting materials suitable for casting into silicon moulds. The research is based on casting models of selected materials. By the measurement of the dimensions of the models and by assessing of the appearance of castings is permitted comparisons of choosing materials. According to the obtained results, it is recommended the most appropriate material and casting process.

Desetinné řídění :

Klíčová slova : LITÍ, VAKUUM, PROTOTYP, VOSK

Zpracovatel: TUV Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2010

Archivní označení zprávy:

Počet stran : 45

Počet příloh : 12

Počet obrázků: 10

Počet tabulek : 13

Počet modelů : 0

nebo jiných příloh: 0

Prohlášení

Byl jsem seznámen stím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – šlo o kolní dílo.

Berou na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezaskládá do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vlastní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Zelenému, Ph.D. za cenné rady, ochotu a pomoc svýzkumem i se zpracováním celé práce.

Dále děkuji panu Ing. Jaroslavu Fajtovi za ochotu pomoci v průběhu výzkumné části a Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za výpomoc při přípravě výzkumu.

Poděkování náleží také mým rodičům a celé rodině za poskytnutou podporu a důvěru v průběhu dosavadního studia.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	8
1 ÚVOD.....	9
2 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	9
3 POPISTECHOLOGIE A LICÍCH MATERIÁLŮ.....	10
3.1 Technologie vakuového odlévání.....	10
3.2 Vakuová komora MK-Mini.....	10
3.3 Výroba silikonových forem.....	12
3.4 Odlití modelu.....	14
3.5 Licí materiály.....	16
3.5.1 Tvrditelné pryskyřice.....	17
3.5.2 Vosky a voskové směsi.....	17
A) Parafín.....	19
B) Cerezín.....	19
C) Montánní vosk.....	19
D) Mikrokryсталický vosk.....	20
E) Včelí vosk.....	20
3.5.3 Nízkotavitelné kovy.....	20
3.6 Silikonové kaučuky na výrobu forem.....	21
3.6.1 Silikonové kaučuky pro odlévání dvousložkových pryskyřic a vosků.....	22
3.6.2 Silikonové kaučuky pro odlévání nízkotavitelných kovů.....	23
4 TESTOVÁNÍ VOSKOVÝCH MATERIÁLŮ.....	24
4.1 Tvorba master modelu.....	24
4.2 Druhy odlitých materiálů.....	25
4.3 Postup odlití vosků.....	26
4.4 Měření odlitků.....	27

4.5Odlitímodel ůzvosku č.1.....	28
4.5.1Prvníetapaodlití.....	28
4.5.2Druháetapaodlití.....	30
4.6Odlitímodel ůzvosku č.2.....	31
4.7Odlitímodel ůzvosku č.3.....	32
4.8Odlitímodel ůzvosku č.4.....	33
4.9Odlitímodel ůzvosku č.5.....	34
4.10Odlitímodel ůzvosku č.6.....	35
5VYHODNOCENÍVÝZKUMU	37
5.1Vyhodnocenírozm ěrůodlitk ů.....	37
5.2Vyhodnocenívzhleduodlitk ů.....	38
5.3Vyhodnoceníprocesulití.....	39
5.4Vyhodnocenítvrđostivosk ů.....	39
5.5Celkovévyhodnocení.....	40
6ZÁV ĚR.....	42
Seznampoužitéliteratury.....	43
Seznamp řílloh.....	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

Rapid prototyping	rychlé prototypování
Master model	prvotní model sloužící k výrobě forem
NC (numerical control)	číslicově řízený
Pokojová teplota	teplota v rozmezí přibližně 20–23 °C
Bar	vedlejší jednotka tlaku v soustavě SI (1 bar = 10^5 Pa)
Atmosférický tlak	tlak vzduchu závislý na nadmořské výšce, smluvní hodnota odpovídá velikosti $1,01325 \cdot 10^5$ Pa

1 ÚVOD

Stále se zrychlující „nekonečný p řiběh“. Práv ě tímto p řízviskem, vyp ůjčeným ze slavného pohádkového románu Michaela Endeho, by se dal charakterizovat vývoj technologií v oblasti strojírenství. Technický pokr ok se žene kup ředu neuv ěřitelnou rychlostí a nové objevy a nápadysou již nadenním po řádku.

Jako základní dorozumívací prost ředek pro vyjád ření idejí každého stroja ře byl, je a bude tužka a papír. P řičemž v dnešní době už v ětšinou neposta čuje pro p ředstavu či prezentaci složit ějších myšlenek a nápad ů prostor pouze od dvou rozm ěrech. Proto je zde snaha kt ěmto ů čelům stále častěji využívat trojrozm ěrné modely, na které si lze sáhnout. Dalo by se říci, zhmotněné p ředstavy, vyrobené v conej rychlejší možné době. Touto problematikou se zabývá oblast nazvaná Rapid Prototyping, v p řekladu rychlé prototypování.

Díky metodám Rapid Prototyping lze oproti b ěžným zp ůsobům, relativně v krátké době, vy řešit mnoho úkol ů. M ůže se jednat nap říklad o vytvo ření prototyp ů nových výrobků, odhalení možných budoucích problém ů p ři konstrukci, nebo p řesvědčení zákazníka o kvalitách a technické vysp ělosti firmy. Tato fakta mohou v mnoha p řípadech ušet řit nemalé finan ční prost ředky a zvýšit prestiž společnosti. Proto je d ůležitě se problematice prototypování věnovat a pokoušet se o její neustálý vývoj.

2 CÍLE BAKALÁ ŘSKÉ PRÁCE

Úkolem bakalářské práce je p ředstavení technologie a použitelných materiál ů pro výrobu prototyp ů litím ve vakuu. P řičemž hlavní cíl spo čívá v nalezení nejvhodnějšího litého materiálu z oblasti vosků spolu s vhodným postupem odlití. Zaměřením a vosky je voleno z toho d ůvodu, že použití prysky řic je již vícemén ě běžně využívané, a tak by nejspíš jejich výzkum nem ěl v ětší potenciál. Zatímco využití vosků pro výrobu prototyp ů je na kated řě výrobních systémů zatím nep říliš probadaná oblast. Tentokrát tedy jeví velmizajímav ěm ůže by d o budoucna zna čně p řínosný.

3 POPISTECHOLOGIEALICÍCHMATERIÁL Ů

Tato část je soustředěna na popis technologie vakuového lití, včetně výroby forem a odlití modelu. Dále je zde zahrnut výčet a popis jednotlivých licích materiálů vhodných pro tuto technologii.

3.1 Technologie vakuového odlévání

Technologie vakuového lití je velmi produktivní metodou v oblasti výroby modelů a prototypů. Hlavní důvody využívání této technologie jsou přesnost, rychlost a efektivnost výroby. V neposlední řadě se k tomu kladům může řadit i nižší finanční náročnost na užití této metody. Výrobou silikonových forem a jejich následným použitím pro odlévání lze výrazně ušetřit v porovnání s litím do forem kovových. Rozdíl v ušetřených finančních nákladech bývá až kolem 90%. [7]

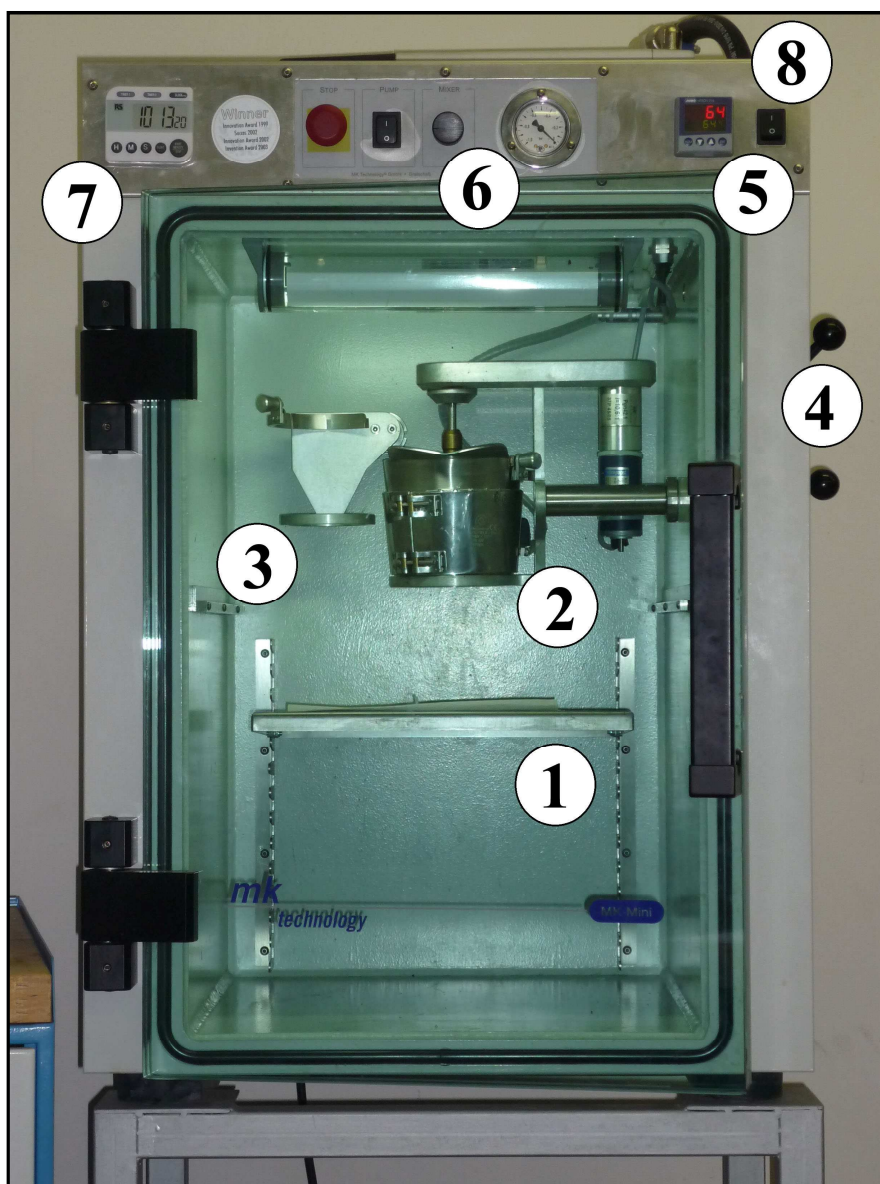
Odlitek může být vyroben z široké škály plastických materiálů. Vhodnou volbou lze dosáhnout požadovaných vlastností, barev a budoucího použití. Zatím nejpoužívanějším materiálem jsou vícesložkové pryskyřice, avšak vhodné jsou i další materiály jako jsou například vosky a jejich směsi. [7]

3.2 Vakuová komora MK-Mini

Jedná se o zařízení, které ve svém pracovním prostoru dokáže vytvořit tlakové podmínky odpovídající vakuu. Téměř všechny funkce komory MK-Mini jsou ovládány manuálně bez žádné elektroniky. Jediná elektronicky řízená činnost je nastavitelná rychlost promíchávání materiálu.

Komora je díky svým rozměrům kompaktnější než jiné komory stejného charakteru. U koncepce komory byla pozornost zaměřena na optimální viditelnost a osvětlení. Dvě řady jsou proto vyrobeny z průhledného skla, které umožňují neomezený pohled dovnitř celé komory. Z toho důvodu je za řízení speciálně vhodné pro školy a univerzity, kde má početnější skupina učastníků nenarušený pohled do celé komory. Tím pádem je jim umožněno vidět veškeré operace procesů, které probíhají v jejich útrebách. Nádoby pro přípravu licího materiálu mohou být podobně vyrobeny

zprůhledného plastu nebo z kovu. Kovové nádoby lze ohřívat pomocí speciální objímky. Nastavení teploty umožňuje řízení. [10]



Obr.1: Vakuová komora MK-Mini

1. Stavitelná police pro umístění formy,
2. Kovová nádoba s ohřívací objímkou (z vrchu je možno připevnit lopatku míchacího zařízení),
3. Místok uložení druhých nádob pro přípravu dvousložkového materiálu,
4. Páky k ovládnutí ventilu vakuové pumpy a sklápění nádob,
5. Přídavné zařízení nastavení teploty kovové objímky umístěné kolem nádoby,
6. Ovládací panel (sloužící k řízení otáček, zapínání vakuové pumpy, vypnutí stroje), ručičkový ukazatel podtlaku uvnitř komory,
7. Přídavné stopky sloužící k měření doby zpracovatelnosti silikonu a dalších časů,
8. Vakuová pumpa.

Tab.1:TechnicképarametryvakuovékomoryMKMini [8]

MKMini-Technickádata	
Maximálníváhaodlitku	1,400kg
Maximálnírozměryformy	450x470x400mm
Vnitřnírozměrykomory	450x470x700mm
Vnějšírozměrykomory	640x600x1000mm
Doba vytváření vakua	3minuty
Doba zpečetění hodosažení atmosférického tlaku z max. vakua	25sekund
Elektrické napětí	230V/50Hz
Výkon	0,9kW
Váha	250kg

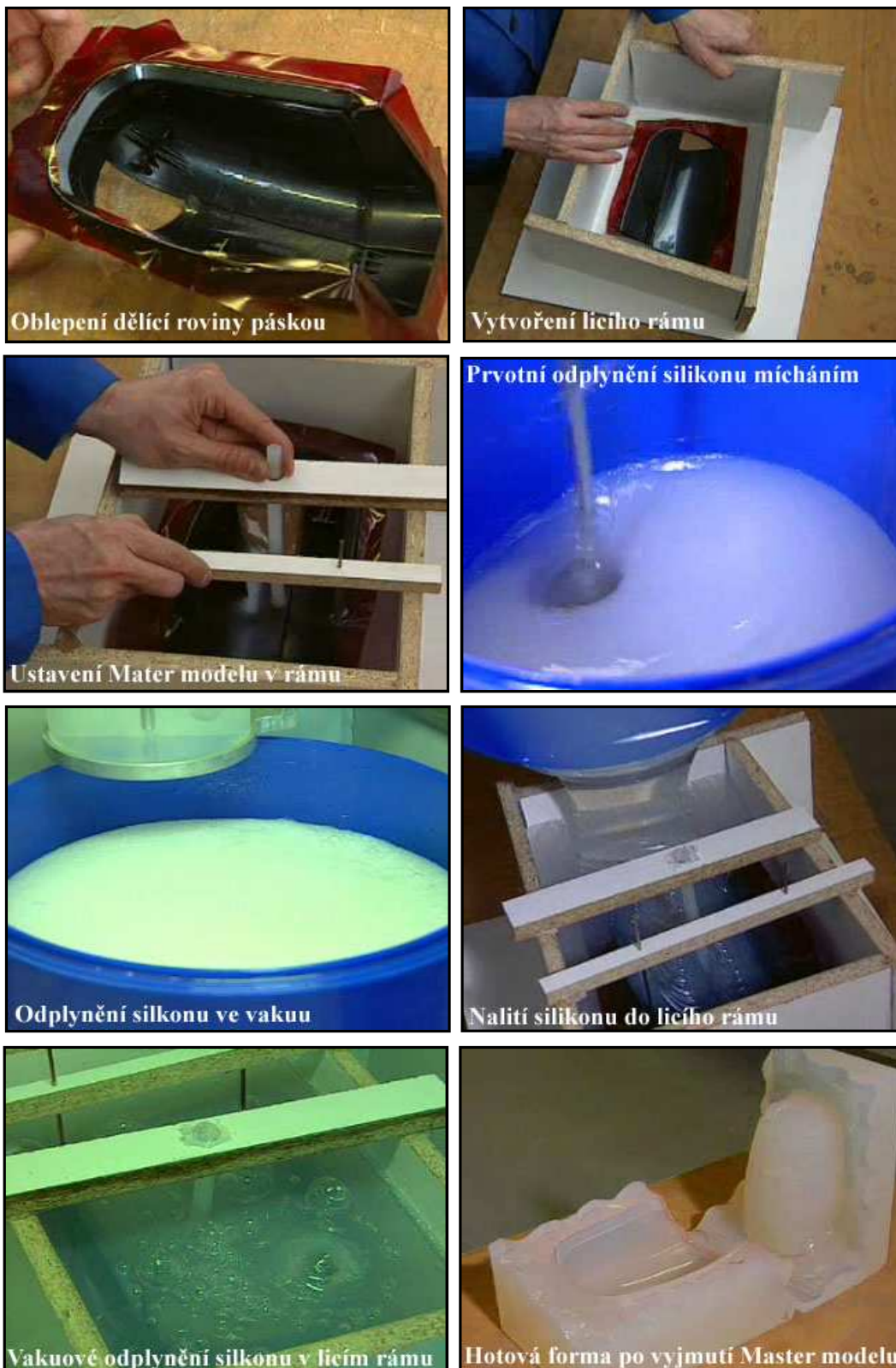
3.3 Výroba silikonové formy

Nezbytností pro technologii vakuového odlévání je perfektní master model, který může být vyroben konvenčním způsobem, nebo pomocí technologií Rapid prototyping. Povrch master modelu by měl být absolutně perfektní bez sebemenších vad. Tyto moderní technologie výroby prototypů jsou tak přesné, že se z master modelu na povrch jeho kopie duplikují sebemenší vady a nedokonalosti.

Výroba formy je započata stanovením dělící roviny na master modelu. Ta se v případě některých modelů může oblepit lepicí páskou následné identifikaci poztuhnutí formy. Také všechny otvory, které lze rozdělit jednoduše vytvořit, by měly být uzavřeny použitím krycí pásky. Jakmile je master model takto upraven, může se umístit do lícího rámu.

Tvorba lícího rámu je velmi snadná a levná záležitost. Ve většině případů se rám sestává ze čtyř obvodových stěn a dna. Rám může být vyroben například z dřevěných čísklených desek, které jsou slepeny dohromady vhodným lepidlem pro volený materiál. Jednotlivé desky nemusí být řezány, ale postupným slepováním může být rám říznut způsobem požadovaných rozměrů. Dále je vytvořen vtokový kanál, který je připevněn k povrchu modelu nebo skrz něj prochází. Samotný master model se nakonec musí ustavit v rámu. To se může provést například přilepením vtokové říčky, která spojuje dvě sousední stěny rámu. U modelů v těchto rozměrech je doporučeno ještě přidat ukotvení modelu v rámu pomocí tenkých drátků. Lící rám by měl být

dostatečně velký, aby dovoľoval úplné zakrytí master modelu k olem dokola vrstvou silikonu. Šířka vrstvy by měla být velikost minimálně 3 cm. [9]



Obr.2: Výroba silikonové formy [9]

Příprava silikonu vyžaduje důkladné smíchání obou složek. Proto je silikon nejprve důkladně promícháván po dobu kolem 2 minut. Před odlitím musí být zcela odplyněn, jinak by se všechny plynové bubliny uvnitř formy ve vakuu rozšířily a způsobily narušení stability odlitku. Odplynění se provede pod vakuem uvnitř komory. [9] Je ovšem důležité pamatovat na to, že objem silikonové směsi může narůstat až na pětinašobek původního objemu. Proto je důležité volit na odplynění nádobu o větší objemu. [15] Tento proces je ukončen asi po půl hodině, poté se může odplyněný silikon z komory vyjmout.

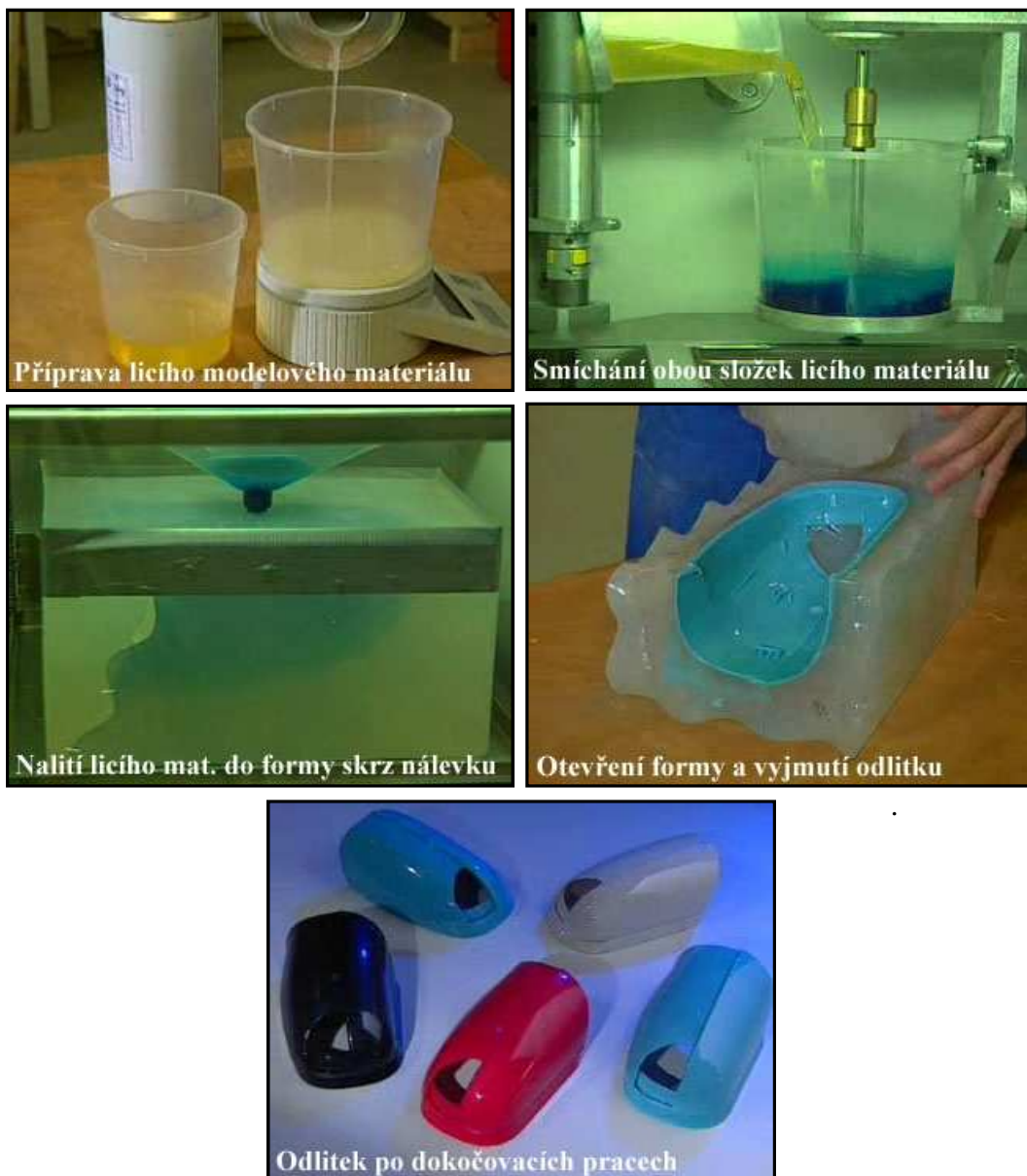
Následně se silikon opatrně nalije do rámu. Silikon je naléván až do té doby, kdy je rám plný a master model je překrytý nejméně 2 cm vrstvou. Následně je licí rám vložen do komory za účelem opakování odplynění kod stranění všech zbývajících vzduchových bublinek. Celý proces zpracování silikonu musí být dokončeno do 90 minut od jeho přípravy. Po této době uplyne doba zpracovatelnosti silikonu a ten začne tvrdnout. Při pokojové teplotě dochází k jeho úplnému ztvrdnutí mezi 12 a 15 hodinami. Temperování v peci při teplotě kolem 80°C se může tato doba krátit na 2 hodiny.

Ve chvíli, kdy je silikon ztvrdlý, je možné rám odstranit. V dalším kroku je nutné dostat master model z dutiny formy. Pomocí skálpelu se forma rozřízne v místech dělicí roviny kopírováním vlnitých čar, která zaručuje pozdější přesné spojení obou dílů formy. Po otevření formy je vyjmut master model. Kodvodu vzduchu při plnění formy lze podle potřeby vytvořit jednoduché odvětrávací kanálky např. injekční jehlou. V tento okamžik je forma připravena k prvnímu odlití. [9]

3.4 Odlití modelu

Jak již bylo zmíněno, existuje celá řada modelářských materiálů, které se dají zpracovat touto metodou. Nejběžnějším materiálem jsou však dvousložkové polyuretanové pryskyřice, které dokážou napodobit většinu používaných termoplastů. V následujících odstavcích je popsána příprava a odlití právě dvousložkových pryskyřic. Licí proces jednosložkových materiálů, jako jsou např. vosky, je téměř identický. Navíc je pouze operace roztavení materiálu a dochází k promíchávání pouze jedné složky.

Odlévání materiálu musí být před samotným lícím procesem odplyněn, podobně jako silikon při výrobě formy. Odplyněním už trvá pár minut, ale i kolem půl hodiny. Odplyňovací proces může být též usnadněn předcházející temperací materiálu v peci. Doba odplynění a teplota temperance jsou závislé na typu odlévaného materiálu.[9]



Obr.3:Odlití modelu[9]

Sponkami je zajištěno dostatečné pevné spojení obou částí formy. Prozlepení lících vlastností by se měla forma předehřát v peci. Následně jsou forma a lící materiál vloženy do nitra komory. V komoře se vytváří vakuum a asi po 3 minutách se započne s promícháním obou složek lícího materiálu. Promíchávání zde slouží k důkladnému

smíchání složek kapalných funkcí opěťovného plynného materiálu. Samotné vyplnění formy za účelem analýzy již promíchání dvou složkového směsu řešení v kůži formy.

Po odlití je forma opět vložena do pece za účelem vytvrzení odlitku. Teplota uvnitř pece je opět dána voleným materiálem. Jakmile je odlitek vytvrzen, dochází k otevření formy. Nejprve se odstraní sponky za účelem oddělení obou částí formy od sebe. Poté je možno vyjmout hotový odlitek. Vtok a přebytečný materiál lze odstranit od odlitého modelu pomocí řezného nástroje. V závislosti na stavbě a materiálu odlévaného modelu lze uskutečnit až kolem 100 odlitků z jedné formy. [9]

3.5 Lící materiály

Volba lícího materiálu je jedním z nejdůležitějších faktorů pro dosažení odlitku požadovaných vlastností. Lící materiály lze podle [2] rozdělit do dvou základních skupin, které jsou vymezeny jejich nejvýznamnějšími vlastnostmi. Tyto vlastnosti souvisí s přípravou lícího materiálu do slévatelného stavu a následným vytvrzením odlitku. Dle toho se tedy dělí na materiály:

- tvrditelné-pryskyřice
- teplem tavitelné-vosky, kovy, asfalty, ...

Lící materiály tvrditelné

V oblasti prototypového lití jsou nejčastějšími zástupci této skupiny tvrditelné pryskyřice. Nejdůležitějším znakem těchto tvrditelných materiálů je ten fakt, že jsou v normálním stavu tekuté. Nemusí se tedy ve většině případů před použitím nijak upravovat nebo ohřívat, jsou tedy ihned použitelné ke zpracování. Většinou pouze dochází k smíchání jednotlivých složek. Bezprostředně po odlití nastává fáze vytvrzování odlitku. Vytvrzením odlitek ztuhne a poté již není možné zpětně změnit skupenství na kapalné. Slovo vytvrzení tak představuje určitou chemickou reakci, díky které dojde ke změně skupenství lícího materiálu. Mezi nejpožívanější způsoby dosažení reakce patří například zvýšení teploty, působení katalyzátorů atd., opět v závislosti na použitém materiálu. [2]

Licímateriályteplemtavitelné

Jsou materiály, které je nutné přetavit do odlití upravovat. V tomto případě se jedná o změnu skupenství materiálu z pevného na tekuté. Toho se dosáhne zahřátím na teplotu, která přesahuje teplotu tavení daného materiálu. Jakmile je veškerý objem materiálu v tekutém stavu, je možné ho odlévat. Vytvrzovací proces nastává zapostupného snižování teploty až na teplotu pokojovou.

U teplem tavitelných materiálů je nutné myslet na smrštění objemu v průběhu chlazení. Tento jev lze zmírnit přehřátím formy na stejnou teplotu, jakou má odléváný materiál. Materiál se přistýkne povrchem formy tak prudce, ne ochlazuje jako v případě použití formy, která není ohřátá. [2]

3.5.1 Tvrditelné pryskyřice

Každá tvrditelná pryskyřice se skládá z určitého počtu složek, jejichž vzájemným smícháním je umožněno vytvrzení pryskyřice. Dle tohoto počtu lze pryskyřice rozdělit na jednosložkové, dvousložkové a tříložkové.

Jednotlivé druhy se liší jen počtem nutných složek, ale i způsobem vytvrzení. Po vytvrzení se tvrditelné pryskyřice vyznačují tuhostí a tvrdostí. V porovnání s vosky je možno zaznamenat lepší mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti.

Na katedře výrobních systémů se při vakuovém odlévání v komoře MK-Mini nejčastěji používají dvousložkové polyuretanové pryskyřice. První složkou je tzv. složka základní. Druhou bývá tužidlo, které má funkci katalyzátoru. Obě složky musí být v předepsaném poměru důkladně smíchány. Po odlití pryskyřice je odlitek vytvrzován ohřevem v peci. K dvousložkovým pryskyřicím se mimo zmíněných polyuretanových také řadí například epoxidové a polyesterové pryskyřice nebo fenolické ličivové hmoty. [2]

3.5.2 Vosky a voskové směsi

Voskové materiály jsou v normálním stavu pevného skupenství. S rostoucí teplotou však roste jejich plasticita a při překročení tavicí teploty mění své skupenství

na kapalné. Tyto látky patří k inertním chemicky neaktivním. [14] Samotné vosky se v češtině případy pro odlití nepoužívají, ale spojují se do tzv. voskových směsí spolu s dalšími přísadami. Tím lze dosáhnout lepších vlastností liticích materiálů.

Vosky lze rozdělit dle mnoha hledisek. Tím nejdůležitějším je určitě rozdělení podle původu, které vosky avoskové směsi dle původu rozdělí na přírodní a syntetické. [4]

Přírodní vosky avoskové směsi

Přírodní směsi, jak už název napovídá, jsou tvořeny složkami získaných z přírodních zdrojů. V češtině se jedná o rostlinné produkty, jako je uhlí a čízemní vosk. Tyto směsi se pak dle účelu dělí na měkké a tvrdé. Nejdůležitějšími složkami měkkých směsí bývají tradiční vosky jako například parafín a cery. Hlavní složkou tvrdých směsí je monokalcin. [4]

Syntetické vosky avoskové směsi

Takto se nazývají látky, které jsou vytvořené uměle. Avšak na první pohled se tak jevit nemusí a laicky lze nabýt přesvědčení, že se jedná o vosk přírodní. To je dáno velmi podobnými vlastnostmi a vizuální analogií. Ovšem po analýze chemického charakteru je vidět, že jejich stavba a složení přírodním produktům neodpovídá. [2] Syntetické směsi se skládají z vosků, pryskyřic, polymerů, plniv a dalších. Použití některých polymerních látek umožní zvýšit viskozitu a fyzikální vlastnosti směsí. Volbou vhodného plniva lze zase přizpůsobit tepelné a mechanické vlastnosti, ale i dokonce docílit výrazně menší smrštění. [4] Teplota tání směsí je závislá na použitých složkách, ovšem v češtině se u případů setkáváme s teplotou 100°C. [2]

Zabarvení syntetických vosků je velmi často nevýrazně bílé až nažltlé. Tyto vosky bývají označovány obchodními názvy, které si volí sám výrobce. V názvu se v češtině objevuje odkaz buď na složení, nebo na charakteristické parametry produktu, jako například teplota tání. [2]

Vosky přírodní	Vosky syntetické
parařín	vosky označováné obchodními názvy
cerezín	
montánní vosk	
mikrokrystalický vosk	
včelí vosk	

Obr.4:Schéma rozdělení vosků

A) Parařín

Parařín je jedním z nejběžnějších vosků a nachází uplatnění v mnoha odvětvích průmyslové výroby. Skládá se z tvrdých nenasycených uhlovodíků. [4] Tento vosk se získává izolací zropy po předchozí destilaci benzínů. [2] Dle použité úrovně destilace mají paraříny rozdílnou teplotu tání, jenž se nachází v teplotním rozmezí mezi 35 do 60 °C. Paraříny jsou bílé, průsvitné materiály, které se vyznačují křehkou krystalickou strukturou a značnou tvrdostí. Tyto vosky jsou stálé a odolné vůči i kyselinám a zásadám. [14]

B) Cerezín

Cerezín je složen z tvrdých metanových uhlovodíků. Jeho struktura má v čistém stavu tvar jehličkovitých krystallů, avšak v porovnání s jinými vosky není množství krystallů velké. [4] Tento vosk se dnes získává stejným způsobem jako parařín, ale navíc také rafinací zemního vosku ozokeritu. Teplota tání se liší u tvrdých a měkkých cerezínů. Měkké mají bod tavení už v rozmezí mezi 60 a 70 °C, tvrdé cerezíny se dají roztavit až při teplotách 80 až 90 °C. Cerezíny mají bílé či žlutohnědé zbarvení. [2] Je nutno zmínit některé slabé stránky vosku jako jsou nižší hodnoty plasticity a nízké pevnosti a tvrdosti. Ovšem za značný nedostatek cerezínů by se dalo označit jejich lineární smrštění, které dosahuje velikosti kolem 3,5%. [4]

C) Montánní vosk

Montánní vosk se získává rafinací kyselinou sírovou zvytuminózního hnědého uhlí [14]. Je složen z voskových, pryskyřičných a asfaltických látek. Při čemž kvalita surového montánního vosku je dána poměrem všech složek. Čím více je ve vosku

asfaltických látek, čím je jeho kvalita horší. [4] Struktura těchto vosků, které patří mezi 72 až 76°C, je velmi jemná. [2] Barva odpovídá žluté či bílé barvě. [14] Montánní vosky se mohou použít buď čisté, nebo se do nich přidávají různé přísady ke zlepšení jejich vlastností. Jedna z nejdůležitějších vlastností takovéto směsi pak je ta, že nepopraská ani při rychlém střídní teplot v rozmezí od -40 do 90°C. Montánní vosky se zpracovávají v průmyslu syntetických vosků a jako hlavní složka tvrdých voskových směsí. [2]

D) Mikrokrystalický vosk

Mikrokrystalické vosky se získávají rafinací zropy. Struktura těchto vosků je velmi jemná a je tvořena malými krystalky. Bod tání se pohybuje mezi 55 až 98°C v závislosti na velikosti molekulové váhy. V praxi se používají i polosyntetické mikrokrystalické vosky, u kterých jsou některé vlastnosti uměle upraveny. Barevné zbarvení mikrokrystalických vosků je bílé až světle hnědé. Patří do teploty od 70°C do 105°C. Tyto vosky se dají velmi dobře odlévat. Dále pak k této skupině řadíme vosky impregnační (bod tání v rozmezí 60 – 95°C) a kaširovací (bod tání v rozmezí 50 – 75°C). Oba druhy jsou velmi pružné, čehož je docíleno úpravou vhodnými elastomery. [2]

E) Včelí vosk

Včelí vosk není pro odlévání nejvhodnější materiál, zejména pro jeho nízkou teplotu tavení. Bývá však často součástí voskových směsí, které se používají pro odlévání na vytavitelné modely, například v oblasti dentálního užití. Vosk se získává z medových pláství, ze kterých byl odstraněn med. Teplota tání se nachází mezi 61 až 63°C, přičemž se vosk stává plastickým již při teplotách kolem 30 až 40°C. Včelí vosky mají bílou nebo nažloutlou barvu. Vůči kyselinám jsou odolné, ale proti zásadám již nikoliv. [14]

3.5.3 Nízkotavitelné kovy

Výroba modelů litím do silikonových forem se může uskutečnit i z kovových materiálů. Jedná se pouze o takové kovy a kovové slitiny, které mají nízkou teplotu

tavení. Silikonové materiály, ze kterých jsou formy vyrobeny, mohou zajistit správné odlití pouze do určitého teplotního maxima. Tato hodnota se u každého výrobce liší, přibližně se pohybuje mezi 200 až 300 °C. Dotěchoforembysetedydaloodlévatkovy jako je cín, jehož teplota tání se v daném teplotním rozmezí pohybuje. Dále je pak možno použít slitiny hliníku, olova nebo cínu, které mají nižší teplotu tání než zmíněné čistě kovy.

3.6 Silikonové kaučuky na výrobu forem

Na výrobu forem metodou odlévání ve vakuu se převážně používají dvousložkové silikonové kaučuky. Neboli: „*pevné polymerní sloučeniny na bázi siloxanů. Siloxany jsou sloučeniny, v jejichž molekulách se střídají vazby k řemíku a kyslíku Si-O-Si*“ . [16] Po smísení a homogenizaci obou složek (pasty a katalyzátoru) nastává po částečné vulkanizační reakce. Výsledkem této reakce je vznik silikonové pryže. Jsou známy dva mechanismy vulkanizace, a to adiční a polykondenzační. [15]

V případě polykondenzační vulkanizace lze reakci popsat takto: „*základní silikonový polymer (polysiloxan) končený hydroxylovými -OH skupinami reaguje s nízkomolekulární složkou – alkokysiloxanem nebo polymethylhydrogensiloxanem*“ . [15] Doba nutná k dokončení zpracování takového silikonového kaučuku se při pokojové teplotě pohybuje v rozmezí 0,5–2 hodin a doba vulkanizace mezi 24–48 hodin, vzhledem k použitému kaučuku a množství přidávaného katalyzátoru. Poklesem teploty pod 15 °C se vulkanizační reakce zpomalí. Lineární smrštění bývá až 1%. [15]

Adiční vulkanizační mechanismus funguje na tomto principu: „*základní silikonový polymer obsahuje určité množství vinylových skupin, jež jsou schopny reagovat za katalýzy sloučeninami platiny nebo rhodia s polymethylhydrogensiloxanem za tvorby říčních vazeb*“ . [15] U tohoto způsobu vulkanizace by se teplota zpracování měla vždy pohybovat nad 20 °C. Za předpokladu většího smrštění lze reakci urychlit navýšením teploty prostředí. Mezi největší klady tohoto mechanismu patří nízké lineární smrštění, které dosahuje pouze velikosti okolo 0,1%. Za zámínku jistě stojí i vysoká hodnota tažnosti a odolnosti proti natržení. Naopak nevýhodou je citlivost katalyzátorů na některé materiály modelů.

Nejvýznamnější vlastností silikonových kaučuků jsou zejména teplotní odolnost, nízká adheze k povrchu odlitků a pružnost. Právě značná pružnost umožňuje jednoduché vyjímání odlitků komplikovanějších tvarů z formy.[15]

3.6.1 Silikonové kaučuky pro odlévání dvousložkových pryskyřicavosků

Pro výrobu modelů z plastických materiálů jako jsou pryskyřice je možno použít silikonový kaučuk od firmy EBALTA. Tento produkt na výrobu forem pro prototypy je prověřený dlouhodobým používáním na katedře výrobních systémů. Jedná se o vysokopevnostní dvousložkový silikonový kaučuk SILASTIC T-4. Tento produkt je připravován pomocí mechanismu adiční vulkanizace

Jakmile dojde ke smíchání základní složky tužidle, dochází k vytvrzení na transparentní kaučuk do stavu flexibilní pryže. Vytvrzení je dokončeno po uplynutí 12 hodin za pokojové teploty. Proces vytvrzení je možno opět urychlit zvýšením teploty, což ale vede k větší smrštivosti. Díky nízké viskozitě lze obě složky velmi snadno smíchat a odplynit.

Mimo běžného tužidla T-4 Standard firma nabízí ještě jednu alternativu této složky. Je to tužidlo názvu T-4O, díky kterému je dociлено samomazného efektu. Ten značně zlepšuje separační vlastnosti materiálu. Forma má po odlití matný a lesklý povrch.

Použití forem je vhodné do teplot 250°C, avšak časté odlévání při teplotách nad 200°C vede k poklesu elastických vlastností.[3]

Tab.2: Technické údaje směsi kaučuku SILASTIC T-4[3]

Vlastnosti a technické údaje po 24 hod. vytvrzení při teplotě 23°C	
Viskozita směsi	35000 MPa.s
Tvrdost	40° ShA
Tažnost	375–400%
Pevnost v tahu	6,5–6,7 MPa
Odolnost proti dalšímu trhání	27–32 N/mm
Lineární prodloužení	<0,1%
Zprac. čas (200 g při 23°C)	90 minut

3.6.2 Silikonové kaučuky pro odlévání nízkotavitelných kovů

Na našem trhu se vyskytuje významný výrobce silikonových materiálů pro výrobu forem, použitelných pro odlití kovů. Je to společnost Lučební závody a.s. Kolín. Produkty této firmy jsou vhodné jak pro odlévání nízkotavitelných kovů, tak i pro výrobu odlitek úpryskyřic.

Nejvhodnějšími produkty firmy Lučební závody a.s. Kolín se zdají být LUKOPRENNY, kondenzační dvousložkové silikonové kaučuky. Vyznačují se malým smrštěním, dobrými separačními vlastnostmi a tepelnou odolností. Pro odlití kovů je vhodné použít produkt s číselným označením 5541. Je to silikonová pasta, která jako v případě chladících katalyzátorů vulkanizuje a přetvoří se v pryž. Hlavní využití spočívá v přípravě forem určených k odlití zejména slitin cínu, olova a antimonu, u kterých selicíteplotapohybujedo 320 °C.[6]

Tab.3: Parametry vulkanizátu LUKOPRENN 5541 [12]

Parametry vulkanizátu popřípadě katalyzátoru 1,5% hmot.	
Tvrдость	55°ShA
Pevnost v tahu	3,0 MPa
Tažnost	120%
Lineární smrštění	0,3%
Hustota	1200 kg/m ³
Tepelná odolnost	-50 až +250 °C (krátkodobě) až +320 °C

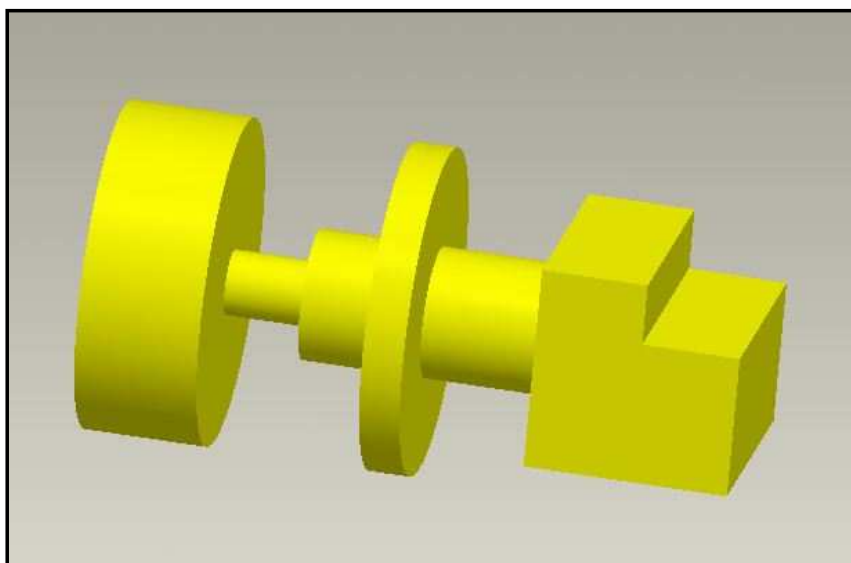
4 TESTOVÁNÍ VOSKOVÝCH MATERIÁLŮ

V této části je pozornost soustředěna na odlití jednotlivých voskových materiálů. A to především na proces měření odlitků a posouzení jejich kvality na základě porovnávání rozměrových rozdílů a povrchových vad. Nakonec je doporučeno nejvhodnější materiál pro odlití.

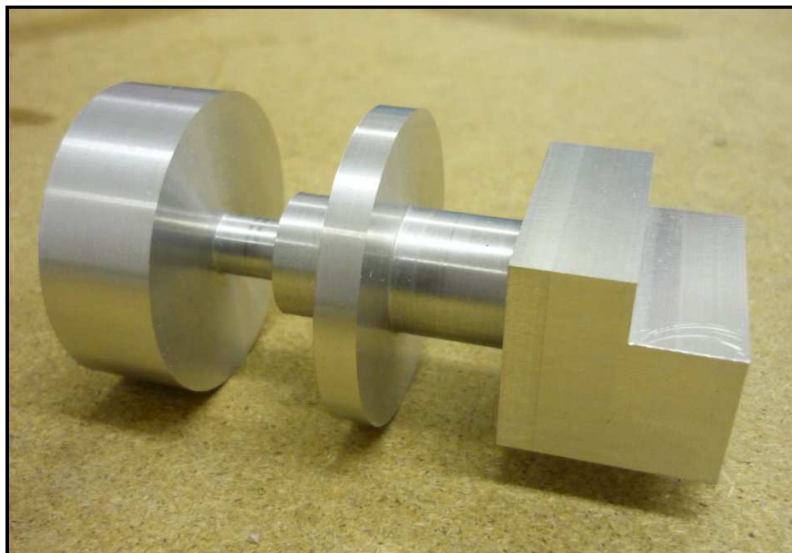
4.1 Tvorba master modelu

Předpokladem pro výrobu silikonové formy a tudíž i odlitků je master model. V tomto případě měl být takových rozměrů, aby se dal lehce zaformovat do formy o kompaktních rozměrech. Další určující faktor byl možný obrobitelný rozměr na obráběcím centru. Na základě těchto předpokladů byl volen maximální průměr modelu 40 mm a délka 80 mm.

Model byl nejprve vytvořen v softwaru ProENGINEER. Následně se sestavila obráběcí simulace pomocí softwaru EdgeCAM, ve kterém bylo dosaženo také generování NC programu. Master model byl vyroben na pětiosém obráběcím centru značky Mazak INTEGREX 100-IV frézovacími a soustružnickými operacemi. Polotovare pro výrobu byl odlit v duralovém kruhovém průřezu.



Obr.5: Model v softwaru ProENGINEER



Obr.6: Model po obrobění a obráběcím centru

4.2 Druhy odlitých materiálů

Pro výzkum vhodnosti použití vosků bylo vybráno šest vzorků od různých výrobců. Ve výčtu jsou zastoupeny vosky přímo určené k technologii odlévání ve vakuové komoře, ale také vosky, jejichž primární zaměření je poněkud odlišné. Všechny jsou ovšem vhodné pro výrobu odlitků u gravitačním litím.

Vosk č.1 – Licívosk (PK-Dent)

Vhodnost použití: na výrobu vytavitelných modelů určených k dentálnímu použití.

Vlastnosti: minimální srážlivost, plasticita, nízká teplotní roztažnost. [11]

Složení: směs parafínu, ceresínu a vosku.

Vosk č.2 – SRS Rose Pink (Advantage-fl.cz)

Vhodnost použití: k všeobecnému použití, na výrobu odlitků s hladkým povrchem.

Vlastnosti: minimální srážlivost.

Vosk č.3 – SRS Royal Blue (Advantage-fl.cz)

Vhodnost použití: na výrobu tenkých, křehkých odlitků s hladkým a lesklým povrchem.

Vlastnosti: nízká srážlivost, střední tekavost

Vosk č.4 –SRSSuperRed(Advantage-fl.cz)

Vhodnostpoužití: navýrobuodlitek úsvelkýmiplochami

Vlastnosti: minimálnísrážlivost,pružnost,narovn émpovrchusevosk
nepropadá.

Vosk č.5 –SRSAquaGreen(Advantage-fl.cz)

Vhodnostpoužití: kvšeobecnémupoužití.

Vlastnosti: podobnývoskuSRSPink,nižšítekutos t.[1]

Tab.4:Souhrnnádataprovosky č.2– č.5

Technickádatavosk ů č.2– č.5	
Bodtání	70–78°C
Bodtuhnutí	64–68°C
Penetracep ři25°C	5–10±0.1mm
Viskozitap ři100°C	80–110MPa.s
Hustota	1.05g/cm ³
Složení	Směšrafinovanýchhydrokarbonovýchvosk ů, pryskyřic,polymer ů,estervosk ůabarviv

Vosk č.6 –Licívosk(BlaysonLtd.;MCAESystems,s.r.o.)

Vhodnostpoužití: kvýrob ěodlitek ůtechnologííodlívánímvevakuu.

4.3Postupodlitívosk ů

Zkaždého vosku bylo vždy vyrobeno 6 kus ů modelu. P řed odlitím se formy předeřádaly vpeci na teplotu o n ěkolik stup ňů vyšší, než byla teplota odlévání daného vosku. To se provedlo z d ůvodu ztráty tepelné energie p ři p řesunu formy z pece dokomoryap řiodplyn ěnívoskup ředodlitím.T řiformychladlypoodlitíp řipokojové teplotě.Zbylét řikusysenechalypozvolnavychladnoutpeci,vekte řése p řed odlitím přehřály. Pec byla stále nastavena na oh řívací teplotu a po vložení formy sodlitkem se vypnula. Poté odlitek spolu svnit řkem pece chladnuly na pokojovou teplotu. Sledoval se vliv rozdílnosti rychlosti ochlazování řorem na velikost kone čného smrštění.Tavícíteplotavosk ůbylavždyiteplotoulicí.

4.4 Měření rozměrů

Nejvíce důležitá je určitě získání informace o rozdílnosti rozměrů odlitých modelů od master modelu. Pro vyhodnocení smrštivosti vosků bylo na každém modelu proměřovány tyto rozměry:

A: celková délka modelu,

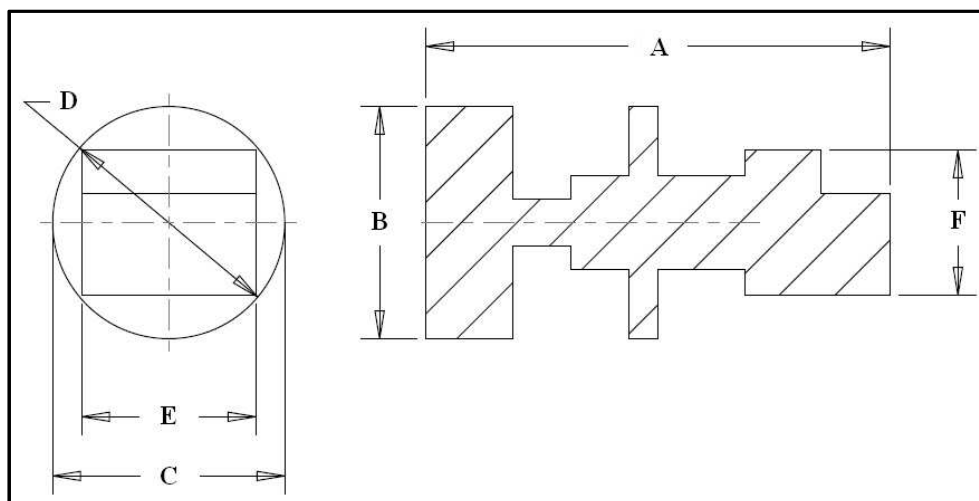
B: maximální průměr měřený v dlečicí rovině,

C: maximální průměr měřený v rovině kolmé na dlečicí rovinu,

D: maximální průměr měřený v rovině skloněné pod úhlem cca 135° oddlečicí roviny,

E: vzdálenost rovnoběžných ploch hranolové části měřené v rovině kolmé na dlečicí rovinu,

F: vzdálenost rovnoběžných ploch hranolové části měřené v dlečicí rovině.



Obr.7: Měření rozměrů na odlitých modelech

Pro zjištění některých licích vlastností jako jsou například zabíhavost a schopnost vosku vyplňovat duté prostory, je model složen z různých tvarových ploch. U hranolové části by se mohlo ukázat, jak tekutý vosk dokáže vyplnit ostré hrany a rohy. V případě rotační části je pozornost zaměřena hlavně na vyplnění prostoru formy při průchodu vosku dutiny s menším objemem dutiny o objemu větším nebo naopak.

Rozměry se měřily zhruba uprostřed ploch, kde se dalo očekávat nejvyšší smrštění. Měření se provádělo u každého odlitku zhruba v stejných místech, aby bylo možné provést vzájemné porovnání. Každý rozměr byl naměřen vždy třikrát na stejném místě. Poté byl proveden aritmetický průměr těchto tří naměřených hodnot a zapsán do tabulky (viz příloha I–VI) koeficient příslušného rozměru. Toto měření se provedlo

nakždém modelu. To znamená šestkrát pro každý vosk, tedy třikrát pro oba způsoby chladnutí odlitku. Nakonec byl z každé této trojice opět vypočten aritmetický průměr, k získání údaje velikosti rozměru v závislosti na typu chladnutí. Tato získaná hodnota byla považována za konečnou a byla zní určena informace o procentuálním rozdílu daného rozměru odlitku oproti master modelu.

Rozměry (B, F) odměřované v místě spojení obou částí formy, tedy v dělicí rovině, byly v některých případech měřeny v pozici s nepatrnou odchylkou od této roviny. To bylo provedeno z důvodu vytvoření úzkého lemu kolem dokola celého modelu po zatečení vosku do nepatrné spáry v místě spojení obou forem. Tento lem poté vyčníval nad okolní povrch modelu.

Tab.5: Rozměry naměřené na master modelu

Rozměry master modelu	
A[mm]	79,991
B[mm]	40,038
C[mm]	40,038
D[mm]	40,038
E[mm]	30,025
F[mm]	25,034

4.5 Odlití modelů vosku č.1

Odlití z tohoto vosku proběhlo ve dvou etapách opět vždy po šesti odlitcích. První etapa (odlitky 1.1 – 1.6, viz příloha č. I a VII) odlití byla zároveň úvodní etapou výzkumu. Ovšem etapa druhá (1.7 – 1.12, viz příloha č. I a VII) byla započata až na jeho konci. Druhé odlití se provedlo zejména z důvodů uplatnění zkušeností nabytých během práce s ostatními vosky.

4.5.1 První etapa odlití

Příprava odlití vosku:

U vosku č. 1 nebyly známy žádné technické parametry, pouze jeho složení. Z toho byla odhadnuta tavní teplota voskové směsi (viz příloha č. I). Vosk byl

po roztavení na tuto teplotu velmi tekutý a po odlití snadno vyplňoval dutinu formy. Odlitky se daly lehce odformovat, bez použití větší síly a předchozímu nanesení separátoru na povrch forem. Po prvním odlití (odlitky 1.1, 1.4), při podtlaku $0,4 \text{ bar}^{-1}$, se musely ve formě vytvořit širší odvětvovací kanálky. Odlitky byly totiž v horní části velmi zdeformované. Roztavený vosk nejspíše nedokázal přes menší odvětvovací kanálky vzduch vytlačit ven z formy a zaujmout celý její objem. U dalších odlití první etapy se také upustilo od odlití ve vakuu, jelikož se ve vosku objevovalo velmi mnoho bublin. Bylo zde tedy riziko, že by to mohla být předzvěst varu vosku, což by bylo velice nepříznivé. Neznalost avšak teploty nemohla toto tvrzení vyvrátit. Další odlévání tedy probíhalo při atmosférickém tlaku. Ovšem ani po těchto úpravách nebyly ostatní odlitky v pořádku.

Vzhled odlitků:

Na povrchu odlitků, v místech dotyku odlitku s vrchní stěnou formy, byly vidět dutiny a podpovrchové vzduchové bubliny. Modely byly z tohoto značně poškozeny. U odlitků, které chladly v peci, se objevilo navíc několik velmi hlubokých propadlin a dutin po bublinách větších rozměrů. Toto vše se mohlo dít z důvodu špatně odhadnuté teploty, absence odplynění či nedostatečného uhořátí forem před lícím procesem.

Rozdílnost rozměrů odlitků od master modelu:

Tab.6: Procentuální rozdíl rozměrů, vosk č.1, první etapa

Rozměr	Procentuální rozdíl rozměrů ² za	
	chlazení v pokoj. teplotě	chlazení v peci
A[mm]	2,527	1,145
B[mm]	1,636	0,669
C[mm]	1,763	1,184
D[mm]	1,583	0,727
E[mm]	1,988	2,162
F[mm]	3,391	2,880

Kompletní tabulky naměřených hodnot najdeme v příloze č.I, fotografie odlitků v příloze č.VII.

¹ Podtlak je vždy vztažen vůči atmosférickému tlaku.

² Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměrů odlitku oproti master modelu.

4.5.2 Druhá etapa odlití

Příprava odlití vosku:

Na základě nabytých zkušeností bylo rozhodnuto, že se opět vyzkouší odlití vosku pod vakuem a riziko možného varu vosku se podstoupí (tato domněnka se nakonec nepotvrdila). A to zejména kvůli velmi zdeformovanému povrchu poukajícím vzduchupřítu hnutí vosku. Vosk tedy zastálého míchání vakuoval jen na malé okamžiky dříve před odlitím. Podosažení podtlaku 0,9 bar a teploty 74°C (tyto hodnoty byly voleny ze zkušenosti s odléváním statních vosků) se ve vosku místy tvořilo pouze pár bublin velkých rozměrů. Toto „bublání“ nebylo tak výrazné a intenzivní jako v první etapě. Tekutost vosku by se dala přirovnat k vodě. Formu tedy vyplnil velmi rychle. Vyjímání voskových modelů bylo stejné jako v první etapě velmi snadné.

Vzhled odlitků:

Vady odlitých modelů se opět objevily v místě dotyku odlitku s vrchní stěnou formy. Největší koncentrace vad se vždy vyskytla právě zde, jelikož vzduchové bubliny, které způsobily většinu deformací, stoupaly vzhůru k hladině taveniny. Všechny odlitky vypadaly mnohem lépe než v předcházející etapě. Ovšem stopy po unikajícím vzduchu v podobě dutin a podpovrchových vzduchových bublin se i zde objevily, zejména na modelech vychladlých při pokojové teplotě. U dvou modelů (1.7, 1.9) došlo k nedokonalému odlití některých částí tělesa odlitku. Odlitky vychladlé v peci (1.10, 1.11) měly podobný problém. Jejich povrch byl celistvý bez rozsáhlejších vad, ovšem modely byly z větší části duté. To se mohlo stát právě díky značné tekutosti vosku. Po vyjmutí forem modely z pece byly nálevky (sloužící i pro uchování zásoby vosku po odlití) prázdné a bylo vidět, že velké množství vosku vyteklo od vzdušňovacími kanálky. Zřejmě došlo k vyrovnávání hladin mezi tekutým voskem v nálevce a ve vzdušňovacích kanálech. Vosk tedy nejspíš velmi rychle vytékal ven z formy kanálky. Materiál poté podtělito kanálky zatuhnul a v nálevce již nebyl další k doplnění objemu formy. Nejlépe dopadl odlitek 1.12, který neměl žádnou viditelnou vadu povrchu.

Rozdílnost rozměrů odlitek vůči master modelu:

Tab.7: Procentuální rozdílnost rozměrů vosk č.1, druhá etapa

Rozměr	Procentuální rozdílnost rozměrů ³ za	
	chlazení při pokoj. teplotě	chlazení v peci
A[mm]	3,057	1,859
B[mm]	0,739	1,116
C[mm]	0,667	0,702
D[mm]	0,714	0,757
E[mm]	1,096	1,429
F[mm]	2,137	3,631

Kompletní tabulka naměřených hodnot se nachází v příloze č. I, fotografie odlitek v příloze č. VII.

4.6 Odlití modelu z vosku č.2

Příprava odlití vosku:

U vosku č. 2 byly k dispozici informace o teplotě tavení (viz příloha č. II) i vhodnosti použití vosku k odlití ve vakuu. Proto bylo vyzkoušeno, jak se bude vosk chovat při vyšších hodnotách vakua. Při dosažení maximálního vakua, které komora dovoluje, se bublinky tvořily jen v malém počtu. Tudíž bylo ověřeno, že se vosk opravdu hodí pro odlití pod vakuem. Vosk se tedy za stálého míchání nechal roztavit pod maximálním vakuem. Po vložení formy do komory došlo při stejných hodnotách vakua k opětovnému odplynění a těsně před odlitím byla hodnota podtlaku snížena na 0,9 bar. Materiál byl v tomto případě velice tekutý a opět vyplnil celý objem formy. Po obtížnější formování bylo jasné, že odlití proběhlo úspěšněji než v předchozích případech. Většinu modelů odlitých z tohoto vosku se nepodařilo dostat ven z formy vcelku. Odlitek popraskal při obtížném vyjímání, kdy forma byla k odlitku přisátá a ten z ní selval a musel být vyjmout.

Vzhled odlitek:

Odlitky, které chladly za pokojové teploty, měly hladký celistvý povrch téměř bez vady, pouze s několika malými dutinkami. Odlité modely vychladlé v peci dopadly

³Kladné hodnoty rozdílu představují zmenšené rozměry odlitku oproti master modelu.

on echo ůře. Uv ětší částit ěchtoodlitk ů(2.4,2.5)bylynedokonaleodlitérohyhranové části.Dálesenajejichpovrchuobjevilon ěkolikdutinpovzduchovýchbublinách.Ip řes tytomalénedokonalostidopadlvoskpovzhledovést ráncevelmidob ře.

Rozdílnostrozm ěrůodlitk ůodmastermodelu:

Tab.8:Procentuálnírozdílnostrozm ěrů,vosk č.2

Rozměr	Procentuálnírozdílnostrozm ěrů ⁴ za	
	chladnutíp řípokoj,teplot ě	chladnutívpeci
A[mm]	2,200	1,735
B[mm]	1,439	1,286
C[mm]	1,409	1,271
D[mm]	1,419	1,296
E[mm]	2,371	2,125
F[mm]	5,501	4,174

Kompletní tabulka nam ěřených hodnot se nachází vp říloze č. II, fotografie odlitkůpakvp říloze č.VIII.

4.7Odlitímodel ůzvosku č.3

Přípravaaodlitívosku:

Proces odlití model ů probíhal stejn ě jako vp ředešlém p řípadě. Op ět došlo za stálého míchání kedv ěma odplyn ěním. Vše p ři stejných hodnotách podtlaku a teploty. Tento vosk modré barvy se zdál být mén ě tekutý než p ředcházející materiály, avšak formy byly vypln ěny bez jakéhokoliv problému. Všechny modely z tohoto vosku sedaly bez v ětších problému vyjmout z formy. To bylo z částimožnédíky separátoru, který se na formy naněsl, p řed jejich zkompletováním a odlitím vosk ů. Konkrétn ě byl použit silikonový d ělící prost ředek názvu 1711 E od firmy Ebalta, se kterým se pracovalo izbývající chodlití.

Vzhledodlitk ů:

Vzhled povrchu model ů se na první pohled jevil velmi dob ře. Dokonce i ostré hrany byly udrtivé v ěšiny odlitk ů výborn ě vypln ěny. Povrch odlitk ů chladnoucích p ři pokojové teplot ě vypadal celistv ě a nepoškozen ě. Ojedin ěle bylo v blízkosti

⁴Kladné hodnoty rozdílu představují zmenšené rozm ěry odlitku oproti master modelu.

odvzdušňovacích kanálků vidět pouze pár malých dutin a podpovrchových vzduchových bublinek. To mohlo být způsobeno nahromaděním většího množství vzduchu, který již nestačil uniknout ven kanálky. Odlitky vychladlé v peci měly povrch o něco horší, vyšší počet dutinek. Nejvíce dutin se objevil u odlitku číslo 3.4.

Rozdílnostrůžů odlitků od master modelu:

Tab.9: Procentuální rozdíl rozměrů, vosk č.3

Rozměr	Procentuální rozdíl rozměrů⁵ za	
	chladnutí při pokoj. teplotě	chladnutí v peci
A[mm]	2,490	1,825
B[mm]	1,551	1,601
C[mm]	1,536	1,509
D[mm]	1,519	1,574
E[mm]	2,565	2,105
F[mm]	5,073	4,278

Kompletní tabulka naměřených hodnot se nachází v příloze č. III, fotografie odlitků pak v příloze č. IX.

4.8 Odlití modelů vosku č.4

Příprava odlitků vosku:

Vosk byl použit jako předchozí vosk od tohoto výrobce. Na rozdíl od dřívějších vosků byl tento hustší konsistence. Při promíchávání připomínal chování medu. Objem formy byl zcela vyplněn. Většina odlitků z tohoto vosku připomínala chování o vyjmutí z formy popraskala i přes použití separovacího prostředku. Odlitky byly k formě přisáté a nedá se je oddělit běžným způsobem, z čehož se dá soudit, že to bylo způsobeno nejspíše velkou adhezí vosku k povrchu formy. Obzvláště obtížné bylo vyjímání modelů vychladlých v peci.

Vzhled odlitků:

Povrch modelů se nezdál být obzvláště vzhledný, zvláště díky velkému počtu skvrn s rozdílnými odstíny základní barvy a téměř žádnému lesku. Také na dotykové smysly nepůsobily odlitky příjemně, jelikož jejich nehladký povrch byl místy pokrytý

⁵Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšené rozměry odlitku oproti master modelu.

mastnými skvrnkami. Dále měly všechny odlitky měkké zaoblené hrany. Tyto vady byly nejspíše způsobeny použitím separovacího prostředku. Z těchto informací by se dalo soudit, že provedení vhodného použití separátoru. Povrch odlitků byl celistvý. Pouze v některých případech (4.3 – 4.5), a to u obou typů chlazení, se na povrchu modelů objevila větší hluboká dutina. Tyto dutiny připomínaly ty otvory, které se tvořily u odlitků z vosku č. 1 v druhé etapě odlití.

Rozdílnost rozměrů odlitků vůči master modelu:

Tab.10: Procentuální rozdíly rozměrů, vosk č. 4

Rozměr	Procentuální rozdíly rozměrů ⁶ za	
	chlazení v řípkové teplotě	chlazení v peci
A[mm]	2,263	1,220
B[mm]	1,259	0,849
C[mm]	1,304	0,772
D[mm]	1,264	0,827
E[mm]	2,315	1,802
F[mm]	5,373	4,418

Kompletní tabulka naměřených hodnot se nachází v příloze č. IV, fotografie odlitků pak v příloze č. X.

4.9 Odlití modelů z vosku č. 5

Příprava a odlití vosku:

Příprava posledního vosku proběhla opět ve stejném duchu jako u předchozích zástupců této řady. Vosk se při odlévání choval tak říkajetě, jen bylo potřeba trochu hustší než ostatní. Odlité modely se zformovaly dostatečně většinou velmi jednoduše. Jen odlitek 5.5 prasknul v místě největšího zúžení. Ovšem to bylo dáno spíše chybou manipulace při vyjímání nežlivější adhezí vosku k povrchu formy.

Vzhled odlitků:

Odlitky 5.1 a 5.2 měly na svém povrchu podobné mastné skvrny jako modely z vosku č. 4. Na rozdíl od nich byly vzhledově přijatelnější svým jmenovitým nedokonalým vyplněním ostrých hran. Proto se při dalším odlití snížila množství separátoru. Odlitky

⁶Kladné hodnoty rozdílu představují zmenšení rozměrů odlitku oproti master modelu.

poté měly vzhled o mnoho kvalitnější, podobný vosku č. 2 a 3. Povrch modelů byl ve většině případů bez větších porušení. Pouze u dvojice modelů vychladlých v peci (5.4, 5.5) a jednoho modelu vychladlého při pokojové teplotě (5.2) byl povrch místy poškozen. A to opět v blízkosti odvětrávacích kanálků vstupu.

Rozdílnost rozměrů odlitků vůči master modelu:

Tab.11: Procentuální rozdíl rozměrů, vosk č.5

Rozměr	Procentuální rozdíl rozměrů ⁷ za	
	chlazení při pokoj. teplotě	chlazení v peci
A[mm]	2,455	1,965
B[mm]	1,319	1,171
C[mm]	1,024	0,902
D[mm]	1,124	0,872
E[mm]	2,258	1,925
F[mm]	4,738	4,462

Kompletní tabulka naměřených hodnot se nachází v příloze č. V, fotografie odlitků v příloze č. XI.

4.10 Odlití modelů z vosku č.6

Příprava a odlití vosku:

K poslednímu odlévání vosku opět nebyly k dispozici žádné technické údaje, pouze informace o vhodnosti použití k výrobě prototypů technologií vakuového lití. Proces přípravy a odlití vosku byl opět identický jako u vosků firmy Advantage-fl. Při volbě tavicí a tedy i lící teploty opět o velikosti 74°C (u odlitků č. 6.4, 6.5) byl roztavený vosk velmi hustý. Poté tedy bylo vyzkoušeno lící teplotu zvýšit na 80°C, která zůstala stejná u všech zbývajících odlitků. Konsistence vosku zůstala takřka nezměněná. To mohlo být spíše způsobeno chemickým složením či použitými přísadami při výrobě vosku nežli volbou nízké teplotou tavení, neboť krátce po odlití se na webových stránkách výrobce podařilo zjistit přibližný bod tání. Ten se nalézal mezi 65 až 80°C [5], tavicí teplota tedy byla volena správně. Vosk ve všech případech výborně zatekl a vyplnil celý objem formy. Při procesu odplynění (podtlak byl volen

⁷Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšené rozměry odlitků oproti master modelu.

opět 0,9 bar) setvořil pouze málo vzduchových bublin a pochvilí jej již hvězkytém šerustal. Roztavený vosk byl neprůsvitný, připomínající olej a při promíchávání zanechával na stěnách tenký film. Odlitky se daly velmi snadno vyjmout z forem, podobně jako vosku č. 1.

Vzhled odlitků:

Všechny modely odlité z tohoto vosku vypadaly výborně. Malým nedostatkem byly snad pouze některé nedokonale odlité rohy hranové části u odlitků vychladlých v peci (6.5, 6.6). Na odlitcích se opět objevilo pár skvrn po použití separátoru. Ze zkušenosti se snadným vyjímáním odlitých modelů se zdálo, že by se mohlo použít separátoru u tohoto vosku vynechat. Odlité modely vypadaly po vzhledové stránce celkově nejlépe ze všech.

Rozdílnost rozměrů odlitků od master modelu:

Tab.12: Procentuální rozdíl rozměrů, vosk č.6

Rozměr	Procentuální rozdíl rozměrů ⁸ za	
	chladnutí při pokoj. teplotě	chladnutí v peci
A[mm]	0,995	0,730
B[mm]	0,320	0,500
C[mm]	0,187	0,042
D[mm]	0,460	0,487
E[mm]	1,136	0,663
F[mm]	2,397	1,722

Kompletní tabulka naměřených hodnot se nachází v příloze č. VI, fotografie odlitků pak v příloze č. XII.

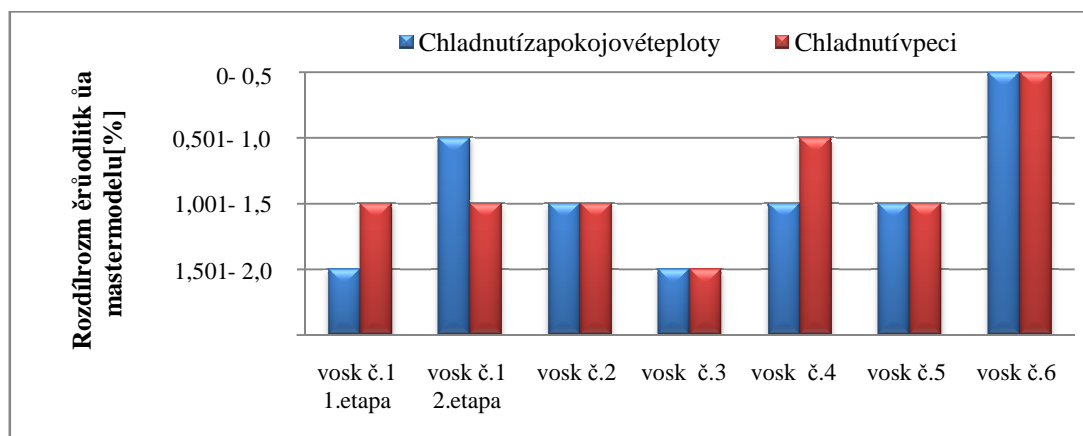
⁸Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšené rozměry odlitku oproti master modelu.

5 VYHODNOCENÍ VÝZKUMU

Vyhodnocení bylo provedeno dle několika různých hledisek. Právě větším počtem nástrojů vedoucích k vyhodnocení dat byla zaručena větší objektivita dosažených výsledků. K vyhodnocení výzkumu bylo tedy použito srovnání rozdílnosti rozměrů, vzhledu a procesů jednotlivých odlitků úsporně porovnáním tvrdosti vosků.

5.1 Vyhodnocení rozměrů odlitků

V následujícím grafu na obr. 8 jsou porovnány procentuální rozdíly rozměrů odlitků od master modelu. Pro vytvoření grafu byly použity skupiny, které se dělily dle použitého vosku a prostředí chlazení. Dále bylo vytvořeno rozdělení procentuálních rozdílů rozměrů odpovídajících půl procentu. Všechny hodnoty nad 2,5% tvořily poslední interval stupnice. V rámci všech skupin se každý procentuální rozdíl rozměru přiřadil k tomu rozmezí hodnot, v němž se jeho hodnota nacházela. Výsledný interval každé skupiny, který je zobrazen na svislé ose grafu, odpovídal právě tomu intervalu, který měl v konkrétní skupině nejvyšší četnost. V případě shodného počtu dvou různých intervalů se provedl výběr po přihlédnutí ke zbývajícím rozmezím v dané skupině. Při stejném počtu dvou sousedních intervalů byl vybrán ten, k jehož hodnotám měly zbylé intervaly nejblíže. Jestliže se shodoval počet dvou rozmezí hodnot, které neležely přímo vedle sebe, byl za výsledný interval určený ten, který se nacházel mezi nimi.



Obr.8 :Vyhodnocení vosků dle procent. rozdílu rozměrů odlitků od master modelu

V celku byly rotační části odlitků postiženy menším smrštěním rozměrů nežli části hranolové. Podrobněji pak byl u obou tvarových částí menší rozdíl rozměrů

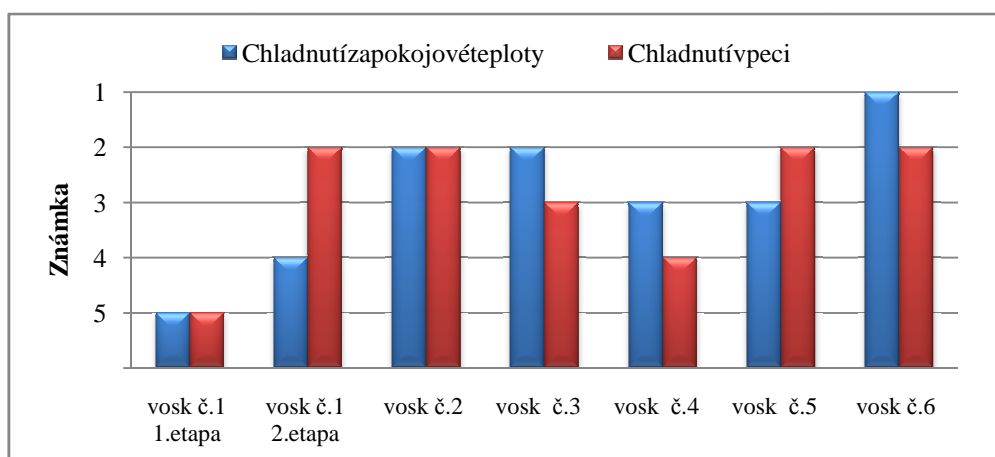
naměřených v rovině kolmé na d ělící rovinu v porovnání s rozměry v rovin ě d ělící (rozměrCaE, obr.7).

5.2 Vyhodnocení vzhledu odlitků

Dosažení výsledků bylo provedeno na trochu jiném principu než v předchozím případě. Z vad odlitků bylo vybráno 6 nejčastějších: zdeformování hran, výskyt viditelných podpovrchových vzduchových bublin, skvrn, malých dutin, velkých dutin a neúplného odlití částí modelu. Vzhledové vady ve formě skvrn způsobené separátorem byly do hodnocení také zahrnuty, jelikož citlivost vosku na separační přípravky souvisí s jeho vlastnostmi. Dle množství výskytu vady byl u každého odlitku všem vadám přiřazen index o určité hodnotě (viz tab. 13). Indexy vad se u jednotlivých odlitků sečetly. Poté došlo k sečtení součtů indexů vad v rámci skupin (stejných jako v předchozím hodnocení). Nakonec se z tohoto druhého součtu udělá aritmetický průměr a jeho základě byla vosku přiřazena známka⁹.

Tab.13: Tabulka vyhodnocení

Přiřazení indexu		Přiřazení známky	
Četnost vady	Index	Suma součtů indexů	Známka
Žádná	0	0–10	1
Nízká	1	11–20	2
Vysoká	3	21–40	3
		41–60	4
		61–∞	5



Obr. 9: Vyhodnocení vosků dle vzhledu odlitků

⁹ Známkování probíhalo školním způsobem, tzn. 1=nejlepší, 5=nejhorší

5.3 Vyhodnocení procesů lití

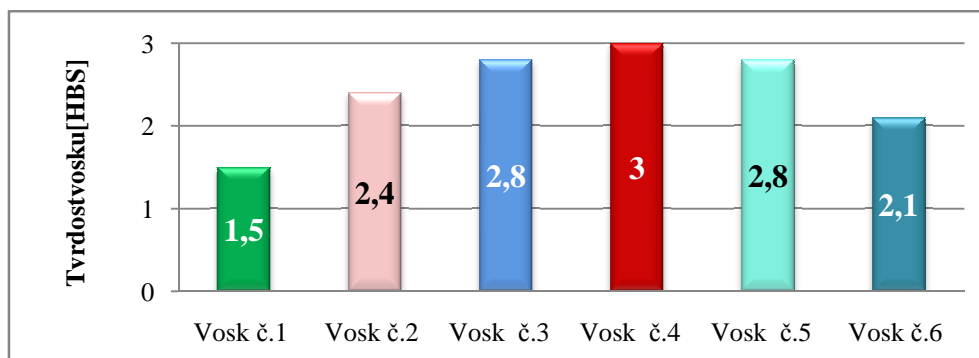
V této části došlo k vyhodnocení významných faktorů, které ovlivňují proces lití. Mezi tyto faktory patří doba tání, zabíhavost vosku, vyplnění dutiny formy tekutým voskem a doba tuhnutí vosku.

Veškeré tyto vlivy byly u všech vosků takřka stejné a dalo by se tvrdit, že mezi nimi nebyly rozdíly. Roztavení všech vosků trvalo vždy okolo půl hodiny při volbě stejného množství. Tekuté vosky bez problému vyplňovaly celý objem dutiny formy bez ohledu na jejich konsistenci. Modely, které chladly při pokojové teplotě, byly ztuhlé po řech hodinách odlití. Odlitky vychladlé v peci měly časovou spotřebu na ztuhnutí celého objemu delší.

Možný vliv typu chladnutí odlitků, odvozený z grafů v předcházející části, již nebyl tak patrný. Voskové modely vychladlé v peci měly v porovnání s odlitky vychladlými při pokojové teplotě většinou obdobný nebo nižší rozdíl rozměrů vztahených k rozměrům master modelu. Z porovnání vlivu způsobu chladnutí na vzhled odlitků, lze vypožorovat, že trend byl víceméně opačný než v předchozím případě. Lepších výsledků se častěji dosáhlo při chladnutí odlitků v prostředí s pokojovou teplotou.

5.4 Vyhodnocení tvrdosti vosků

U všech vosků byla změřena jejich tvrdost Brinellovou vnikací metodou. Zjištěné hodnoty tvrdosti jsou ovšem spíše orientační a slouží především k vzájemnému porovnání jednotlivých vosků. Vosky jsou totiž z velmi měkkých materiálů a změření jejich tvrdosti není vůbec jednoduché. K přesnějším výsledkům je potřeba speciální technika.



Obr. 10: Vyhodnocení vosků podle jejich tvrdosti

Příměřenímbylapoužitaocelovákalenákuličkaoprůměru5mm,zatížení
velkosti31,25kpadobazatíženísepohybovalakol emjednéminuty.

Tvrдостvosk ůnejspíšesouviselasjejichk řehkostí,tedytím,jakbylyodlitky
náchylnékezlomeníp řivýjímánízformy.Nejnižšíhodnotuk řehkostim ělymodely
odlitézvosk ů č.1,3,a6,kdeseneobjevilyžádnéfrakturyodlit ků.Uvosku č.5nastal
pouzejedenp řípadzlomení.Zbývajícívosky č.2a č.4dopadlynejh ůře,jelikožu4z6
odlitkůdošlokezlomení,což činilop řes60%zevšechodlitk ůdanéhovosku.
Pop říhlédnutíkegrafunaobr.10zinformacíolámavostiodlitk ůvyplývá,že čím m ěl
voskvyššíhodnotutvrđosti,tímbylavyššíjeho křehkost.Tomutotvrzenísesvými
výsledkyvymykápouzevosk č.2.Odchylkuzp ůsobilapravd ěpodobněabsence
separátorunapovrchuforemp říjehoodlití.Separátorseza čalpoužívatažododlívání
vosku č.3,práv ěkv ůlivelikélámavostip ředchozíhovosku.

5.5 Celkové vyhodnocení

Nazáklad ěvšechdosaženýchvýsledk ůsejevíjakonejvhodn ějšímateriálvosk
č.6.Tentovoskbylvevšechkategoriíchjasnýmvít ězemanebom ělaspo ňstejn ědobře
výsledky,jakobylynejlepšívýsledkyostatníchvos kovýchmateriál ů.Správnouvolbou
projeho chladnutíse zdábýtprost ředíopokojovéteplot ě.

Za nejvhodn ější proces lití obecn ě by se podle zjišt ěných výsledk ů dal
považovat následující postup. Vosk se nechá roztavit za stálého míchání. Materiál
se pak rychleji roztaví a také se lépe uvol ňuje vzduch zvoskové směsi. Poté dojde
kvysátí vzduchu z komory na maximální vakuum a následnému odplyn ění vosku.
Topotrvá až doté doby, než bude frekvence výskytu vzduchových bublin napovrchu
taveniny minimální. Mezitím se v peci oh řejí formy na teplotu o něco vyšší, než je cí
teplota daného vosku. Tímto by se měl zajistit velmi blízká teplota vosku a formy při
odlití, jelikož povymutí formy zpece dojde ke jejímu ochlazení. Je velmi důležité, aby
formy byly opravdu na tuto teplotu oh řáté, jelikož by teplotní rozdíl m ěl být
co možná nejmenší. Po provedeném odplyn ění se do komory vpustí vzduch a vloží
se formy. Znovu dojde k vytvo ření maximálního vakua a po chvíli, kdy bude výskyt
bublin o řet minimální, se sníží na hodnotu podtlaku 0,9 bar. Nyní se teplotu vosku dle
apovpušt ění vzduchu do komory se formami nechá vychladnout.

Po přihlédnutí k výsledkům lze považovat za vhodnější prostředí k chladnutí odlitků to o pokojové teplotě. Při tomto způsobu chladnutí odlité modely rychleji tuhnou, přičemž unikající vzduchové bubliny nestíhají způsobit takové škody jako při chladnutí odlitků v peci. Odlitky jsou tedy kvalitnější odlité s trochu vyššími hodnotami smrštění rozměrů, než mají odlitky vychladlé z vyšších teplot.

6 ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo nalezení dalších vhodných licích materiálů a postupů lití při výrobě prototypů technologií odlévání ve vakuu. K splnění cíle bylo vybráno šest vzorků voskových materiálů a odevzkoušeno jejich odlití namodelurčeného tvaru a rozměru. Během celého procesu odlévání se vycházelo ze zkušeností s odléváním jinými prototypovými materiály. Ovšem při přípravě vosku a jeho odlití se vždy podřizovalo chování použitého materiálu. Licí postup byl, ale u všech materiálů velmi podobný, což vedlo k vzájemnému porovnání odlitých modelů.

Cíle bakalářské práce byly splněny, jelikož se na základě provedeného testování vybral nejvhodnější zástupce vybraného souboru vosků. Tento vosk dosáhl nejlepších výsledků ve všech metodách hodnocení. Sklidným závěrem se tedy může označit jako nejvhodnější ze všech testovaných. Zároveň i použitý způsob jeho odlití se jeví jako velmi úspěšný, a to i u odlití jiných vosků.

Tato práce by mohla v budoucnu sloužit jako obecný návod k odlévání vosků ve vakuové komoře. Kvůli větší využitelnosti by mohl být doplněn podrobnějšími poznatky a detaily celého procesu. Toho by se dal dosáhnout rozsáhlejším výzkumem. Námětů pro další testování je mnoho. Mohlo by se například uvažovat o vyzkoušení jiných hodnot použitého podtlaku při odlití či zkoušení různých licích teplot u jednotlivých vosků. Přínosem by setaké mohlo stát testování různých teplot, na které se formy budou ohřívat před odlitím. Počet vad na odlitcích by se tímto dalším experimentováním mohl výrazně snížit či úplně eliminovat. Zvláště výhodné by toto testování bylo u těch materiálů, které zůstanou v tvrdém stavu zanejlepším voskem.

Seznampoužitéliteratury

- [1] *Advantage-fl.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-03-24]. Voskynaliti, m odelářskéatd.... Dostupné z WWW: <<http://www.advantage-fl.cz/id6cz-v osky-na-liti-modelarske-atd.htm>>.
- [2] BOUBLÍK, Vlastimil. *Litií plastických hmot pro modelá ře*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1966. Licíhmoty, s. 94-101. L16p-E1- IV-32/10281/XII.
- [3] *Ebalta* [online]. 2010 [cit. 2010-03-28]. Casting Silicone s (Addition Curing). Dostupné z WWW: <<http://www.ebalta.de/ISY/index.php?get=79&target=&type=1{=en&mpos=47&link=>>>.
- [4] HORÁČEK, Milan. *Rozměrová přesnost odlitků vyráb ěných metodou vytavitelného modelu* [online]. Brno, 2009. 92 s. Studijní podklad. Vyso kéu čení technické v Brn ě. Dostupné z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/download/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>>.
- [5] *Investment Casting Wax* [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. Technical Advice . Dostupné z WWW: <http://www.blayson.com/downloads/w ax_handling.pdf>.
- [6] *Lučební závody Kolín* [online]. 2008 [cit. 2010-03-10]. LUKOPREN N (cz). Dostupné z WWW: <<http://www.lucebni.cz/main.php?action=detail&id=12>>.
- [7] *MCAE Systems* [online]. 2010 [cit. 2010-03-02]. mk vacuum casting chambers. Dostupné z WWW: <http://www.mcae.cz/mk_vacuum_casting_chambers_CS.html>.
- [8] *MK Technology* [online]. 2010 [cit. 2010-03-02]. Technical Data MK V System Mini. Dostupné z WWW: <<http://www.mk-technology.com /58.html?&L=2>>.
- [9] *MK Technology* [online]. 2009 [cit. 2010-03-02]. Propaga ční video. Training video "vacuum casting". Dostupné z WWW: <<http://www.mk-technology.com/schulung.html?&L=2>>.
- [10] *MK Technology* [online]. 2009 [cit. 2010-03-02]. Propaga ční video. Vacuum casting systems from "MK Technology". Dostupné z WW W: <<http://www.mk-technology.com/anlagen.html?&L=2>>.
- [11] *PK Dent* [online]. 2008 [cit. 2010-03-24]. Nabídka pro slév ářny. Dostupné z WWW: <<http://pkdent.cz/dentalni-vyroba/katalog/nabidka-pro-slevarny/>>.
- [12] *PZ servis* [online]. 2007 [cit. 2010-03-10]. Lukopren N. Dostupné z WWW: <http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/lucebni/lukN5541.htm>.

- [13] ROUPEC, Jakub. *Zařízení pro vakuové lití do silikonových forem* [online]. Brno, 2007. 100 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=363>.
- [14] *Škola umění kultura - z přednášek, poznámek a pozvánek* [online]. 2008 [cit. 2010-03-02]. Vosky. Dostupné z WWW: <<http://creativartschool.blogspot.com/2008/07/vosky.html>>.
- [15] *VŠCHT* [online]. 2009 [cit. 2010-03-28]. Silikonové formy. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_silikonove_formy/teorie.htm>.
- [16] *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2010-03-27]. Křemík. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99em%C3%ADk>>.

Seznamp říloh

PřílohaI:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.1.....	I
PřílohaII:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.2.....	III
PřílohaIII:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.3.....	IV
PřílohaIV:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.4.....	V
PřílohaV:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.5.....	VI
PřílohaVI:Zm ěřenéhodnotyodlitk ůzvosku ě.6.....	VII
PřílohaVII:Fotografieodlitk ůzvosku ě.1.....	VIII
PřílohaVIII:Fotografieodlitk ůzvosku ě.2.....	X
PřílohaIX:Fotografieodlitk ůzvosku ě.3.....	XI
PřílohaX:Fotografieodlitk ůzvosku ě.4.....	XII
PřílohaXI:Fotografieodlitk ůzvosku ě.5.....	XIII
PřílohaXII:Fotografieodlitk ůzvosku ě.6.....	XIV

Příloha I: Změřených hodnoty odlitků úzvosku č.1

Vosk číslo 1 - Licívosk (PK-Dent)					
Chladnutí při pokojové teplotě					
Model	1.1	1.2	1.3	Ø	Rozdíl rozměru ¹ [%]
Podtlak [bar]	0,4	0	0	-	-
Teplota prostředí ² [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	62	64	72	-	-
A [mm]	78,059	77,990	77,861	77,970	2,527
B [mm]	39,231	39,483	39,436	39,383	1,636
C [mm]	39,229	39,281	39,486	39,332	1,763
D [mm]	39,271	39,460	39,482	39,404	1,583
E [mm]	29,501	29,441	29,341	29,428	1,988
F [mm]	24,331	24,133	24,091	24,185	3,391
Chladnutí v peci					
Model	1.4	1.5	1.6	Ø	Rozdíl rozměru ¹ [%]
Podtlak [bar]	0,4	0	0	-	-
Teplota prostředí ² [°C]	70	70	80	-	-
Licí teplota [°C]	62	64	72	-	-
A [mm]	78,740	79,255	79,229	79,075	1,145
B [mm]	39,553	39,859	39,899	39,770	0,669
C [mm]	39,491	39,473	39,727	39,564	1,184
D [mm]	39,551	39,854	39,835	39,747	0,727
E [mm]	29,011	29,458	29,659	29,376	2,162
F [mm]	24,441	24,186	24,311	24,300	2,880

¹Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

²Teplota prostředí, ve které se odlitky chladí, v závislosti na způsobu chlazení.

Vosk číslo1-Licívosk(PK-Dent)					
Chladnutí řípková teplota					
Model	1.7	1.8	1.9	ø	Rozdíl rozměru ³ [%]
Podtlak[bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁴ [°C]	20	20	20	-	-
Licéplota[°C]	74	74	74	-	-
A[mm]	75,969	78,051	78,618	77,546	3,057
B[mm]	39,941	39,509	39,777	39,742	0,739
C[mm]	40,015	39,612	39,685	39,771	0,667
D[mm]	40,058	39,504	39,695	39,752	0,714
E[mm]	29,703	29,713	29,673	29,696	1,096
F[mm]	24,488	24,496	24,514	24,499	2,137
Chladnutí v peci					
Model	1.10	1.11	1.12	ø	Rozdíl rozměru ³ [%]
Podtlak[bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁴ [°C]	85	85	85	-	-
Licéplota[°C]	74	74	74	-	-
A[mm]	79,035	78,614	77,862	78,504	1,859
B[mm]	39,955	39,475	39,344	39,591	1,116
C[mm]	39,968	39,743	39,561	39,757	0,702
D[mm]	39,887	39,722	39,598	39,735	0,757
E[mm]	29,811	29,807	29,170	29,596	1,429
F[mm]	24,446	24,492	23,439	24,125	3,631

³Kladné hodnoty rozdílu představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

⁴Teplota prostředí, ve které se odlitkem chladne, v okamžiku bezprostředně po odlití.

Příloha II: Změřených hodnoty odlitků úzvosku č.2

Vosk číslo 2-SRS Rose Pink (Advantage-fl.cz)					
Chladnutí při pokojové teplotě					
Model	2.1	2.2	2.3	ø	Rozdíl rozměru ⁵ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁶ [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	78,182	78,477	78,033	78,231	2,200
B [mm]	39,445	39,502	39,44	39,462	1,439
C [mm]	39,503	39,484	39,435	39,474	1,409
D [mm]	39,54	39,442	39,429	39,470	1,419
E [mm]	29,410	29,221	29,307	29,313	2,371
F [mm]	23,676	23,667	23,628	23,657	5,501
Chladnutí v peci					
Model	2.4	2.5	2.6	ø	Rozdíl rozměru ⁵ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁶ [°C]	85	85	85	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	78,576	78,665	78,568	78,603	1,735
B [mm]	39,474	39,535	39,561	39,523	1,286
C [mm]	39,543	39,539	39,505	39,529	1,271
D [mm]	39,461	39,559	39,537	39,519	1,296
E [mm]	29,335	29,476	29,352	29,387	2,125
F [mm]	24,028	23,966	23,974	23,989	4,174

⁵Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšené rozměry odlitků oproti master modelu.

⁶Teplota prostředí, ve které se odlitky chladí, v závislosti na způsobu chlazení.

Příloha III: Změřených hodnoty odlitků úzvosku č.3

Vosk číslo 3-SRS Royal Blue (Advantage-fl.cz)					
Chladnutí při pokojové teplotě					
Model	3.1	3.2	3.3	ø	Rozdíl rozměru ⁷ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁸ [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	77,984	77,864	78,150	77,999	2,490
B [mm]	39,457	39,369	39,426	39,417	1,551
C [mm]	39,460	39,385	39,425	39,423	1,536
D [mm]	39,446	39,378	39,467	39,430	1,519
E [mm]	29,243	29,232	29,289	29,255	2,565
F [mm]	23,742	23,774	23,776	23,764	5,073
Chladnutí v peci					
Model	3.4	3.5	3.6	ø	Rozdíl rozměru ⁷ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ⁸ [°C]	85	85	85	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	78,565	78,454	78,574	78,531	1,825
B [mm]	39,227	39,557	39,408	39,397	1,601
C [mm]	39,347	39,535	39,419	39,434	1,509
D [mm]	39,252	39,540	39,431	39,408	1,574
E [mm]	29,515	29,327	29,337	29,393	2,105
F [mm]	23,991	23,866	24,032	23,963	4,278

⁷Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

⁸Teplota prostředí, ve kterém se odlitky chladí, v okamžiku bezprostředně po odlití.

Příloha IV: Změřených hodnoty odlitků úzvosku č.4

Vosk číslo 4-SRS Rose Pink (Advantage-fl.cz)					
Chladnutí při pokojové teplotě					
Model	4.1	4.2	4.3	ø	Rozdíl rozměru ⁹ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota pro střížení ¹⁰ [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	78,060	78,046	78,437	78,181	2,263
B [mm]	39,476	39,485	39,640	39,534	1,259
C [mm]	39,442	39,480	39,628	39,516	1,304
D [mm]	39,468	39,453	39,674	39,532	1,264
E [mm]	29,237	29,333	29,420	29,330	2,315
F [mm]	23,732	23,551	23,784	23,689	5,373
Chladnutí v peci					
Model	4.4	4.5	4.6	ø	Rozdíl rozměru ⁹ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota pro střížení ¹⁰ [°C]	85	85	85	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	79,152	78,919	78,975	79,015	1,220
B [mm]	39,763	39,506	39,826	39,698	0,849
C [mm]	39,723	39,721	39,742	39,729	0,772
D [mm]	39,757	39,618	39,747	39,707	0,827
E [mm]	29,547	29,472	29,434	29,484	1,802
F [mm]	23,813	23,938	24,033	23,928	4,418

⁹Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

¹⁰Teplota pro střížení, ve které se odlitky chladí, v okamžiku bezprostředně po odlití.

Příloha V: Změřeného hodnoty odlitků úzvosku č.5

Vosk číslo 5-SRSAquaGreen(Advantage-fl.cz)					
Chladnutí při pokojové teplotě					
Model	5.1	5.2	5.3	ø	Rozdíl rozměru ¹¹ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota pro střížení ¹² [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	77,828	78,000	78,253	78,027	2,455
B [mm]	39,491	39,552	39,488	39,510	1,319
C [mm]	39,541	39,660	39,684	39,628	1,024
D [mm]	39,540	39,614	39,612	39,588	1,124
E [mm]	29,343	29,318	29,381	29,347	2,258
F [mm]	23,834	23,982	23,728	23,848	4,738
Chladnutí v peci					
Model	5.4	5.5	5.6	ø	Rozdíl rozměru ¹¹ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota pro střížení ¹² [°C]	85	85	85	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	74	-	-
A [mm]	78,549	78,154	78,555	78,419	1,965
B [mm]	39,581	39,609	39,517	39,569	1,171
C [mm]	39,695	39,625	39,711	39,677	0,902
D [mm]	39,785	39,622	39,660	39,689	0,872
E [mm]	29,469	29,506	29,365	29,447	1,925
F [mm]	23,932	24,007	23,810	23,917	4,462

¹¹ Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

¹² Teplota pro střížení, ve kterém formu odlitkem chladne, v okamžiku bezprostředně po odlití.

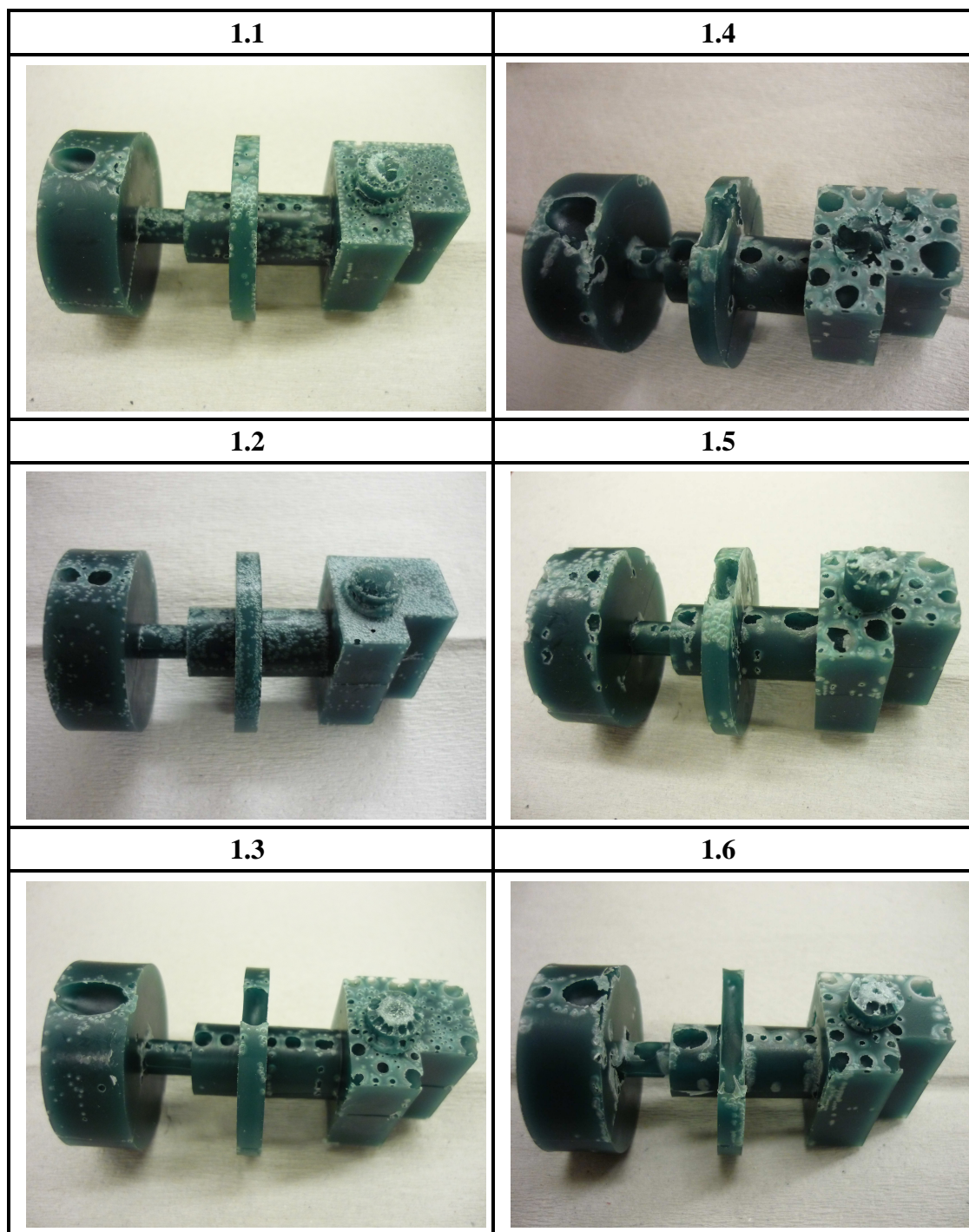
Příloha VI: Změřených hodnoty odlitků úzvosku č.6

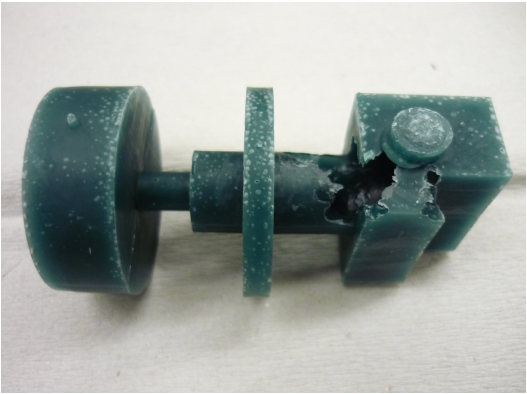
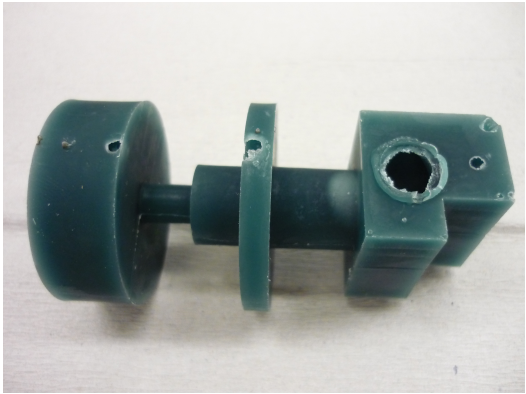
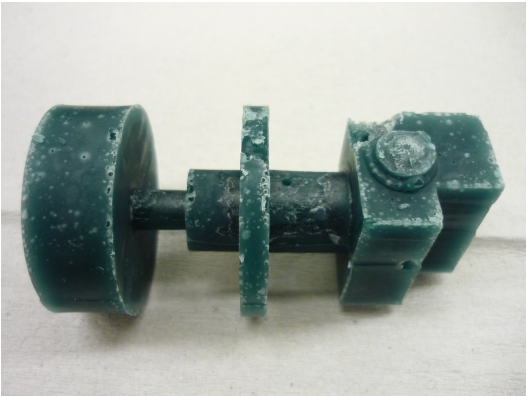
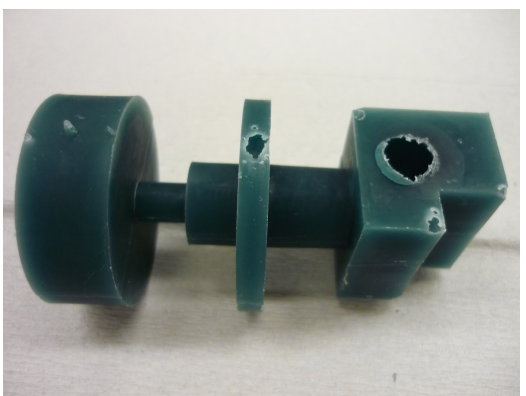
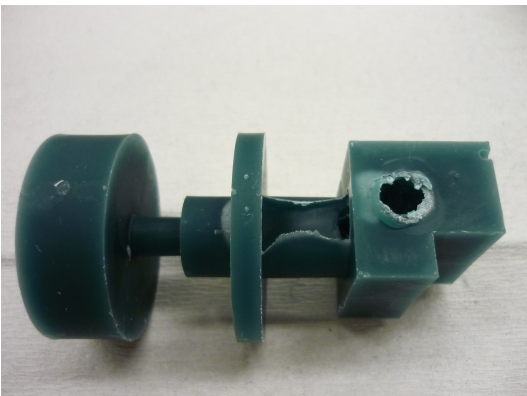
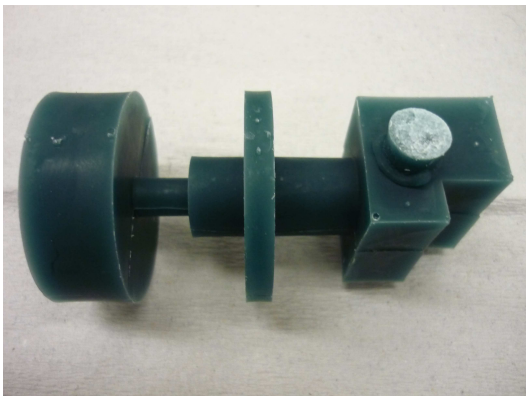
Vosk číslo 6 – Licívosk (Blayson Ltd.; MCAE Systems, s.r.o.)					
Chladnutí v pokojové teplotě					
Model	6.1	6.2	6.3	ø	Rozdíl rozměru ¹³ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ¹⁴ [°C]	20	20	20	-	-
Licí teplota [°C]	80	80	80	-	-
A [mm]	79,240	79,193	79,152	79,195	0,995
B [mm]	39,957	39,814	39,959	39,910	0,320
C [mm]	39,978	39,930	39,982	39,963	0,187
D [mm]	39,827	39,801	39,934	39,854	0,460
E [mm]	29,709	29,713	29,629	29,684	1,136
F [mm]	24,527	24,378	24,398	24,434	2,397
Chladnutí v peci					
Model	6.4	6.5	6.6	ø	Rozdíl rozměru ¹³ [%]
Podtlak [bar]	0,9	0,9	0,9	-	-
Teplota prostředí ¹⁴ [°C]	85	85	90	-	-
Licí teplota [°C]	74	74	80	-	-
A [mm]	79,405	79,408	79,408	79,407	0,730
B [mm]	40,162	39,632	39,722	39,838	0,500
C [mm]	40,130	39,954	39,980	40,021	0,042
D [mm]	39,972	39,749	39,808	39,843	0,487
E [mm]	29,881	29,792	29,806	29,826	0,663
F [mm]	24,600	24,667	24,543	24,603	1,722

¹³Kladné hodnoty rozdílů představují zmenšení rozměru odlitku oproti master modelu.

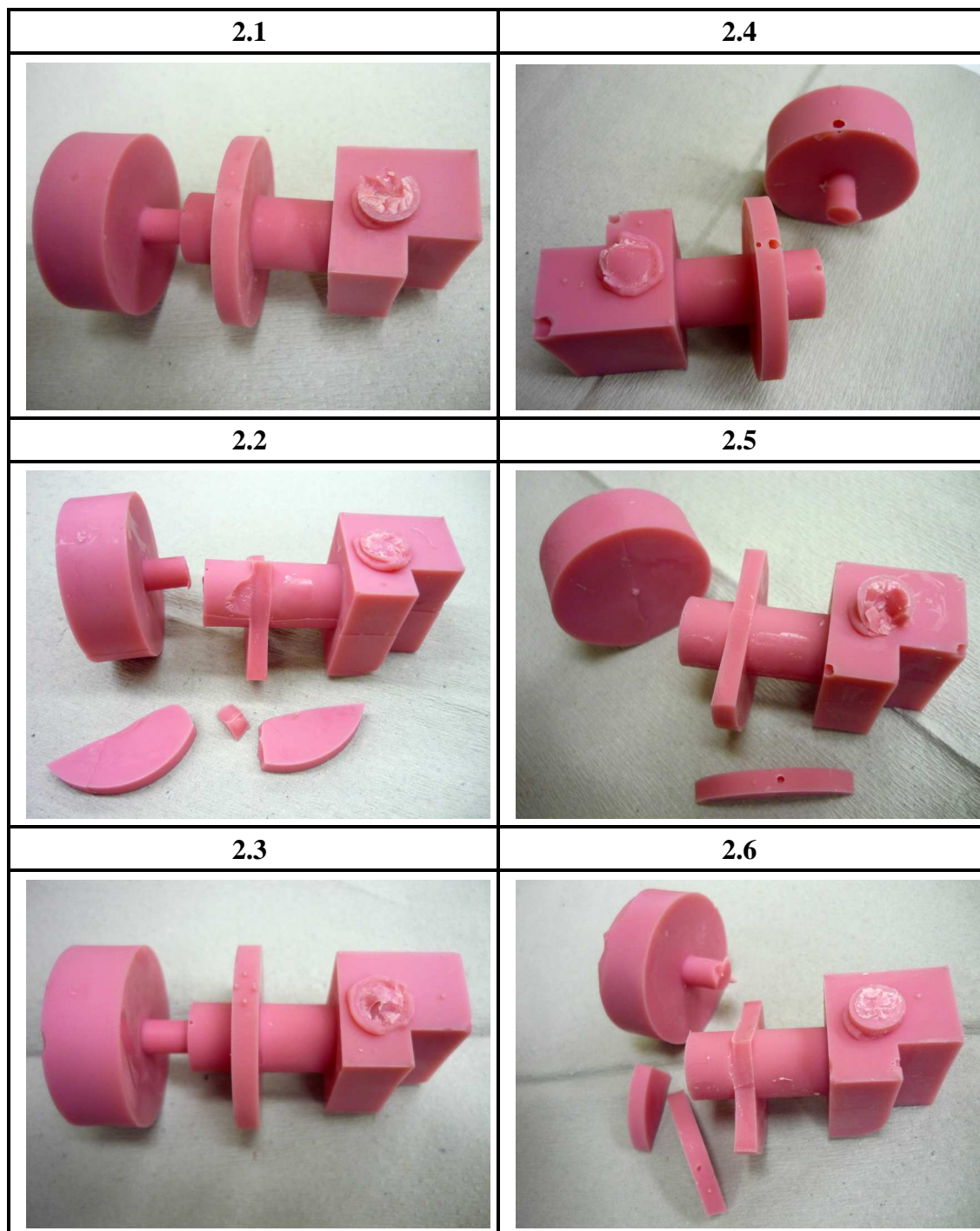
¹⁴Teplota prostředí, ve kterém forma odlitku chladne, v okamžiku bezprostředně po odlití.

Příloha VII: Fotografie odlitek úzvosku č.1

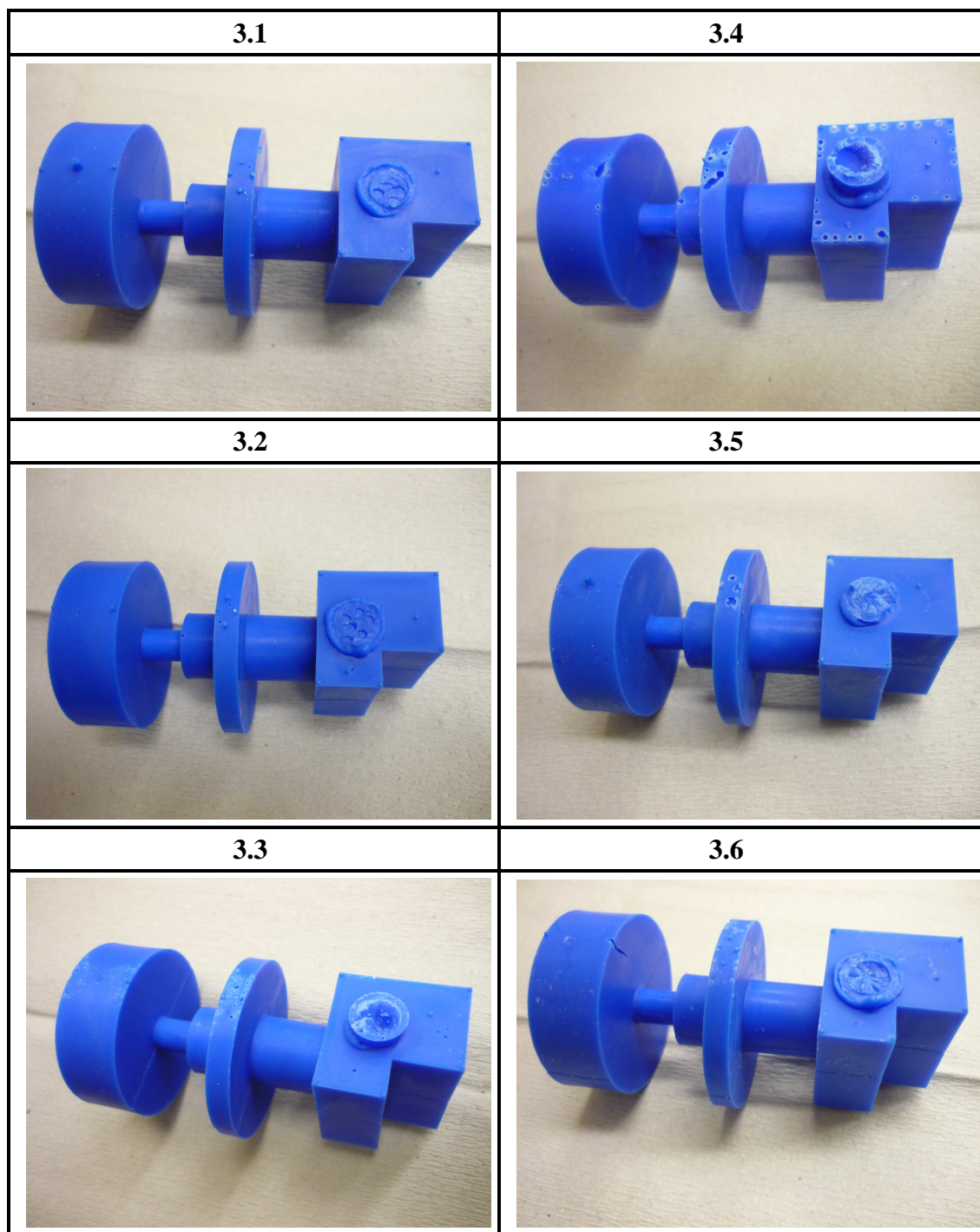


1.7	1.10
	
1.8	1.11
	
1.9	1.12
	

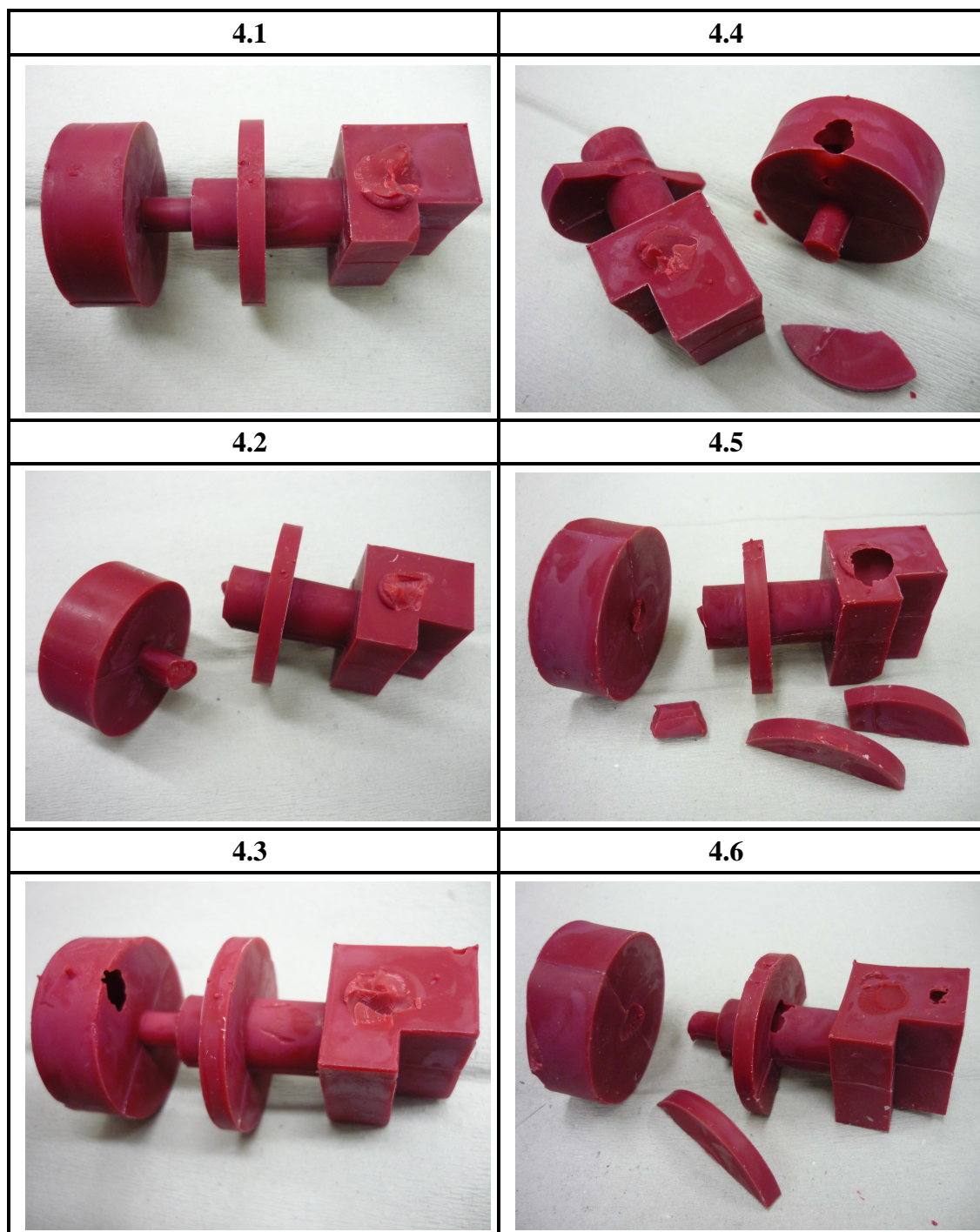
Příloha VII I: Fotografie odlitků ůz vosku č.2



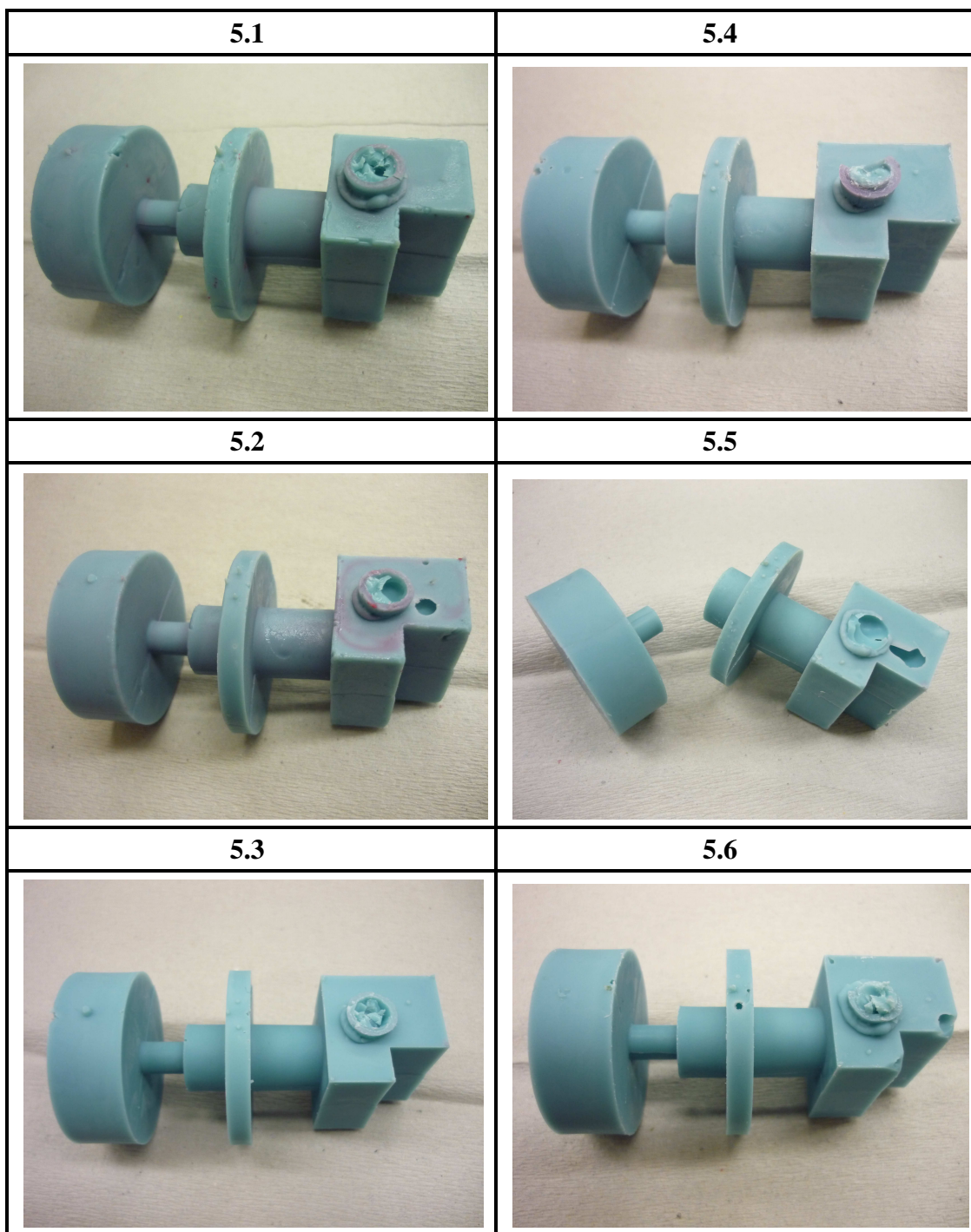
Příloha IX: Fotografie odlitek úzvosku č.3



PřílohaX:Fotografieodlitk ůzvosku č.4



Příloha XI: Fotografie odlitek úzvosku č.5



PřílohaXII:Fotografieodlitk ůzvosku č.6

